

KESKI- JA PIENJÄNNITEVERKON SUUNNITTELU

Pöyliö Samuli

Opinnäytetyö
Tekniikan ja liikenteen ala
Sähkövoimatekniikka
Insinööri (AMK)

2016

Tekniikan ja liikenteen ala
Sähkövoimatekniikka
Insinööri (AMK)

Tekijä	Samuli Pöyliö	Vuosi	2016
Ohjaaja(t)	DI Jaakko Etto		
Työpaikka ohjaaja	Ins. Heikki Aho		
Toimeksiantaja	Despro Engineering Oy		
Työn nimi	Keski- ja pienjänniteverkon suunnittelu		
Sivu- ja liitesivumäärä	60		

Tämä opinnäytetyö tehtiin Despro Engineering Oy:lle. Opinnäytetyön ohessa Despro Engineering Oy:lle toteutettiin luottamuksellinen keski- ja pienjänniteverkkosuunnittelun perehdytysopas. Opas käsittelee Despron tapaa tehdä keski- ja pienjänniteverkon suunnittelutöitä. Sen tavoitteena oli antaa uudelle työntekijälle lähtötiedot suunnittelutyön aloittamiseksi yrityksessä. Opinnäytetyön tavoitteena oli tukea perehdytysopasta sähköverkkosuunnittelun perusteiden avulla.

Opinnäytetyössä käsiteltiin Suomen sähköverkon rakennetta ja sitä, miten sähköverkon historia vaikuttaa sen nykytilaan. Työssä perehdyttiin tarkemmin keski- ja pienjänniteverkon suunnittelussa huomioitaviin seikkoihin, etenkin sähköisen ja maastosuunnittelun osalta. Sähköisen suunnittelun osalta työssä käsiteltiin mm. vikatapausten laskentaa ja johdon mitoittamiseen liittyviä asioita. Maastosuunnittelussa olennaisena osana on lupa-asioiden käsittely.

Opinnäytetyössä hyödynnettiin jo olemassa olevaa tietoa sähköverkon historiasta, rakenteesta ja suunnittelun periaatteista. Lähteinä käytettiin paljon muiden opiskelijoiden tekemiä diplomi- ja opinnäytetöitä, sekä muutamaa sähköverkon rakentamiseen liittyvää kirjallista lähdettä.

Opinnäytetyön ja perehdytysoppaan tavoitteet saavutettiin. Opinnäytetyöhön onnistuttiin keräämään tiiviisti ne tiedot, jotka aloittavan sähköverkkosuunnittelijan on tiedettävä laadukkaasti suunnittelutyön toteuttamiseksi. Opinnäytetyön lisäksi myös perehdytysoppaaseen saatiin koottua ne tiedot, jotka ovat ensiarvoisen tärkeitä suunnittelutyön aloittamiseksi Despro Engineering Oy:ssä.

Industry and Natural resources
Electrical Engineering
Bachelor of Engineering

Author	Samuli Pöyliö	Year	2016
Supervisor	Jaakko Etto, MSc (El.Eng) Heikki Aho, BEng		
Commissioned by	Despro Engineering Oy		
Subject of thesis	Medium and low voltage power grid planning		
Number of pages	60		

This thesis was commissioned by Despro Engineering Oy. Besides the thesis a confidential orientation guide for planning the medium and low voltage power grid was made for Despro Engineering Oy. Orientation guide deals with the way Despro executes medium and low voltage power grid planning. The aim of the orientation guide was to give facts how to start planning work in the company. The aim of thesis was to support the orientation guide by basics of power grid planning.

The thesis deals with Finnish power grid structure and the way the history effects current state of the power grid. The thesis analyses more closely what has to be considered of medium and low voltage power grid planning, especially in the electrical planning and the field planning process. Electrical planning deals with fault calculations and cable dimensioning. Essential part of the field planning process is processing of the permission applications.

Existing information of power grid history, structure and planning principles was utilized in the thesis. The sources mainly consist of electro technology theses of other students. Some books of power grid construction were also used.

The aims of the thesis and the orientation guide were accomplished. The knowledge that a new engineer has to know in order to execute high quality planning was successfully collected compactly in the thesis. Besides the thesis the facts that are essential for starting the planning work in Despro Engineering Oy were successfully collected into the orientation guide.

Key words

electrical grid, planning, contract work, project

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	8
2 DESPRO ENGINEERING OY	9
3 SÄHKÖVERKON HISTORIA JA NYKYTILANNE	10
3.1 Suomen sähköverkon historia ja kehitys	10
3.2 Suomen sähköverkon nykytila ja tulevaisuus	12
3.3 Sähkömarkkinalain tuomat muutokset	13
4 SÄHKÖVERKON RAKENNE	14
4.1 Suomen kantaverkko	14
4.2 Avoin ja suljettu verkko	17
4.3 Sähköverkon jännitetaso	18
4.4 Sähköasemat	18
4.5 Keskijänniteverkko	20
4.6 Jakelumuuntamot	21
4.7 Pienjänniteverkko	23
4.8 1000 V jakelujärjestelmä	24
5 SÄHKÖVERKON RAKENTAMINEN	26
5.1 Sähköverkkoyhtiöt	26
5.1.1 Urakointimallit	27
5.1.2 Vuosisopimustyöt	30
5.1.3 Yksittäiset projektit	30
5.1.4 Raamisopimukset	31
5.2 Toteutustavat säävarman verkon rakentamisessa	31
5.2.1 Keskeisimmät huomiot keskijänniteverkkoa rakennettaessa	32
5.2.2 Keskeisimmät huomiot pienjänniteverkkoa rakennettaessa	33
6 SÄHKÖVERKON SUUNNITTELU	35
6.1 Sähköverkon suunnittelun pääperiaatteet	35
6.2 KVR-urakan suunnitteluosuuden kilpailutus ja aloittaminen	37
6.3 Sähköinen suunnittelu	37
6.3.1 Huomioita keskijänniteverkon sähköiseen suunnitteluun	38
6.3.2 Huomiota pienjänniteverkon sähköiseen suunnitteluun	39
6.3.3 Keskijänniteverkon oikosulku- ja maasulkusuojaus	40

6.3.4	Pienjänniteverkon ylivirta- ja oikosulkusuojaus	45
6.3.5	Jännitteenalenema	47
6.3.6	Selektiivisyys	48
6.3.7	Vaatimukset johdon mitoituksessa	50
6.3.8	Vaatimukset kaapelin mitoituksessa.....	50
6.4	Maastosuunnittelu.....	51
6.5	Maanrakennus ja sähkötyöt	53
6.6	Dokumentointi.....	55
6.6.1	Sähköturvallisuusstandardin vaatimukset dokumentoinnista	55
6.6.2	HeadPower-projektiraportointiportaali	56
7	POHDINTA.....	58
	LÄHTEET	59

ALKUSANAT

Tämä opinnäytetyö on tehty Despro Engineering Oy:lle. Opinnäytetyön ohjaavana opettajana toimi Jaakko Etto ja työpaikkaohjaajana Heikki Aho. Haluan kiittää heitä molempia hyvästä työn ohjauksesta sekä opastuksesta opinnäytetyöni aikana. Haluan osoittaa kiitokseni myös Despro Engineering Oy:n toimitusjohtajalle Antti Savolaiselle opinnäytetyön mahdollistamisesta sekä mielenkiinnosta opinnäytetyötäni kohtaan.

Lopuksi haluan kiittää vielä perhettäni saamastani tuesta ja kannustuksesta opinnäytetyöni aikana.

Oulussa 30.05.2016

Samuli Pöyliö

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

AJK	Aikajälleenkytkentä
AMKA	Riippukierrejohto
ELY	Elinkeino-, liikenne- ja ympäristövirasto
KJ	Keskijännite
kV	Kilovoltti
kVA	Kilovolttiampeeri
KVR	Kokonaisvastuurakentaminen
MVA	Megavolttiampeeri
Natura	Luonnon monimuotoisuutta tukeva hanke
PAS	Muovipäällysteinen ilmajohto
PJK	Pikajälleenkytkentä
SF ₆	Suojakaasu

1 JOHDANTO

Suomen sähköverkko elää tällä hetkellä ns. murrosvaihetta. Sähköverkkoyhtiöiden on investoitava lähivuosien aikana suuria summia sähköverkon uudistamiseen, sillä pääasiassa 1950 - 1970-luvulla rakennettu sähköverkko alkaa olla elinkaarensa päässä. Lisäksi vuonna 2013 uudistettu sähkömarkkinalaki vaatii sähkön jakelijoilta entistä parempaa toimitusvarmuutta sekä lyhempiä jakelukeskeytyksiä.

Suuret investoinnit tarkoittavat suuria rakennustöitä. Rakennustöiden menestyksekkään toteutuksen avain taas on huolellinen suunnittelu. Tämän työn tavoitteena on selvittää yleisimmät toimintatavat luotettavamman sähköverkon suunnittelussa ja rakentamisessa. Työssä tullaan perehtymään tarkemmin keski- ja pienjänniteverkon suunnittelussa huomioitaviin seikkoihin, kuten sähköiseen suunnitteluun ja maastosuunnitteluun.

Opinnäytetyön ohessa toteutetaan Despro Engineering Oy:lle luottamuksellinen keski- ja pienjänniteverkkosuunnittelun perehdytysopas. Perehdytysopas keskittyy Despro Engineering Oy:n toimintatapaan tehdä sähköverkkosuunnitelmia. Perehdytysoppaan tarkoitus on antaa yritykseen tulevalle uudelle suunnittelijalle hyvät lähtötiedot suunnittelun aloittamiseksi. Opinnäytetyön tarkoituksena on tukea perehdytysopasta ja antaa uudelle työntekijälle teoriapohja sähköverkon rakentamisesta ja suunnittelusta.

2 DESPRO ENGINEERING OY

Despro Engineering Oy on vuonna 2015 perustettu energia- ja telecomalan asiantuntijapalveluita tarjoava yritys. Yrityksen toimipaikkoina ovat tällä hetkellä Tampere, Hämeenlinna, Seinäjoki ja Hyvinkää. Yrityksessä työskentelee 21 henkilöä, mutta yritystä ja toimialuetta laajennetaan kysynnän mukaan ympäri Suomea. Despro palvelee urakoitsijoita, verkon omistajia ja muita alan toimijoita. Despro on mukana projektissa suunnittelusta aina sen käyttöönottoon saakka. (Despro Engineering Oy 2016.)

Despron palvelutarjonta on laaja. Sähköverkkorakentamisen osalta se tarjoaa sähköisen suunnittelun, maastosuunnitelmat sekä hoitaa niihin kuuluvat maankäyttö- ja lupa-asiat. Suunnitelmat kattavat verkon rakentamisessa tarvittavat työkuvat sekä materiaaliluettelot. Rakentamis- ja käyttöönottovaiheessa Despro voi avustaa projektin johtamisessa, valvonnassa, laatu- ja turvallisuustarkastuksissa. (Despro Engineering Oy 2016.)

Sähköverkkorakentamisen lisäksi Despro toteuttaa tietoliikenneverkkojen suunnitteluita. Ne kattavat sähköverkkojen tapaan verkkosuunnitelmien laadinnan ja täydentämisen verkkotietojärjestelmään, maastosuunnittelun, lupa-asioiden hoitamisen sekä työhön vaadittavat kuvat. Mobiiliverkkojen osalta suunnittelupalvelut painottuvat esikartoituksiin. Despro laatii työkuvat ja suunnitelmat asennusten toteuttamiseksi. (Despro Engineering Oy 2016.)

Despro voi auttaa myös laajojen projektikokonaisuuksien valmistelussa ja niiden toteutuksessa. Despro tarjoaa myös projektinjohtopalveluita, jotka voivat painottua joko työmaiden johtamiseen tai laajemmin projektin hallintaan. (Despro Engineering Oy 2016.)

3 SÄHKÖVERKON HISTORIA JA NYKYTILANNE

Suomen sähköverkkoa on rakennettu ja kehitetty jo yli sadan vuoden ajan. Tällä aikavälillä Suomeen on saatu rakennettua maan kattava sähköverkko. Sähköverkon nykyisen rakenteen ovat määränneet hyvin pitkälti laatukriteerit. Tosin sähköverkon ja tekniikan kehittyessä sekä sähkön käytön lisääntyessä myös laatukriteerit ovat muuttuneet. Ennen tärkeimpänä laatukriteerinä pidettiin taloudellisuutta rakennusvaiheessa. Nykyään tärkeimpänä laatukriteerinä voidaan pitää sähkön toimitusvarmuutta. Sähkön toimitusvarmuudella tarkoitetaan sitä, että sähkönjakelu ei saa keskeytyä esimerkiksi rajujen sääilmiöiden vuoksi. Tämän vuoksi Suomen sähköverkkoja on alettu uudistamaan. Uudistuksen myötä sähköverkkoja tullaan siirtämään metsästä teiden varsille, sekä osa vanhoista ilmajohdoista korvataan maakaapeloinnilla.

3.1 Suomen sähköverkon historia ja kehitys

Suomen sähköverkkoa on rakennettu ja kehitetty aina 1800-luvun loppupuolelta lähtien, Thomas Alva Edisonin yrityksen toimittaessa toimivan valaistuksen Finlaysonin kutomosaliin Tampereelle. Tampere oli Euroopan viides kaupunki, johon sähkövalo saatiin syttymään. Myöhemmin Finlaysonin tehtaalle perustettiin Suomen ensimmäinen sähkölaitos. (Tukes 2016.)

1900-luvun alussa sähkölaitoksia perustettiin hyvin paljon koskien varsille. Varsinkin maaseutujen sähkölaitosten määrä kasvoi nopeasti vuosien 1917 ja 1925 välisenä aikana. Sähköistämisprosessi helpottui vuonna 1928 säädetyn pakkolain myötä. Se mahdollisti sähkölaitosten hankkia maa-alueita sähköjohtoja varten, ilman maanomistajan suostumusta. Pakkolain myötä 1950-lukuun mennessä Suomen maaseudun talouksista oli sähköistetty jo yli puolet. Lisäksi käytännössä kaikki kaupunkien taloudet oli jo sähköistetty. Maaseudun sähköistäminen eteni edelleen hyvin vauhdilla, kun Suomi sai maksettua sotakorvaukset Neuvostoliitolle ja pahin lama oli ohitse. (Tukes 2016.)

Vuonna 1965 Valtioneuvosto asetti komitean, jonka piti selvittää harvaanasuttujen alueiden sähköistäminen. Tämän seurauksena Suomeen saatiinkin rakennettua kattava sähköjakelun infrastruktuuri. Sähköverkko rakennettiin hyvin pitkälti avojohdoilla sen edullisuuden vuoksi. Tavoitteena oli investointien materiaalikustannusten minimointi. Tämä tarkoitti sitä, että johdot suunniteltiin suoraviivaisesti metsien poikki, johtopituuksien minimoimiseksi. Maaseudun sähköistämisen huippuvuosina sähköjakelun luotettavuus ei ollut keskeisimmässä roolissa. Tärkeimpinä seikkoina sähkön laadussa ajateltiin olevan kohtuullinen jännitteenalema ja riittävän suuri jännitejäykkyys. Kustannussäästöjen lisäksi metsiin sijoittamista perusteltiin johtojen näkymättömyydellä asutusten läheisyydessä. Lisäksi tuolloin metsiin sähköverkkoa rakennettaessa maanomistajat kilpailivat sähköverkon rakentamisesta mailleen, sillä se takasi myös oman sähköliittymän saannin. (Lakervi & Partanen 2007, 143.)

1970-luvulla Suomen voimansiirtoverkkoa vahvistettiin merkittävästi, etenkin Etelä-Suomessa. Sähkösaannin turvaamiseksi rakennettiin 400 kV kantaverkko, jota kutsuttiin atomirenkaaksi. Kantaverkon rakentamisen lisäksi Loviisassa käynnistettiin samoihin aikoihin Suomen ensimmäinen ydinvoimalaitos, joka nosti sähköntuotannon uudelle tasolle. (Caruna Oy 2016.)

1970-luvun loppupuolella tietotekniikka alkoi yleistyä Suomen sähköverkossa. Ennen miehitetyt sähkö- ja muuntoasemat muutettiin kaukokäytön aikakauteen. Tämä tarkoitti sitä, että sähkö- ja muuntoasemia voitiin ohjata erillisistä valvoimista. Vuonna 1979 uudistettiin myös yli 50-vuotias sähkölaki ja 1980-luvulle tultaessa Suomi oli viimeinkin kokonaan sähköistetty. (Caruna Oy 2016.)

Sähkömarkkinat vapautettiin 1990-luvulla ja verkkoliiketoiminta eriytettiin sähkölaitosten muusta toiminnasta. Vuonna 1998 markkinat avautuivat täysin ja Suomi oli Euroopan ensimmäisiä maita, joissa tavallinen kotitalousasiakas pääsi kilpailuttamaan oman sähkösopimuksensa. Nykyisinkin Suomen sähkömarkkinoita voidaan pitää erittäin edistyneenä, useisiin muihin Euroopan maihin verrattuna. (Caruna Oy 2016.)

3.2 Suomen sähköverkon nykytila ja tulevaisuus

Suomen sähköverkosta suurjänniteverkot ovat monilta osin rakennettu avojohtoina, tosin useissa kaupungeissa 110 kV:n sähköverkkoa on myös maakaape-loitu. Keskijänniteverkoista on avojohtoina 80 %, ilmakaapeleina 7 % ja maa-ve-sistökaapeleina 13 %. Pienjänniteverkosta avojohtoina on 3 %, ilmakaapeleina 58 % ja maakaapeleina 39 %. Energiateollisuuden tekemän selvityksen mukaan koko jakeluverkon kaapelointiasteen odotetaan nousevan vuoden 2014 29 %:sta 44 %:n vuoden 2019 loppuun mennessä. Tähän on syynä vuonna 2013 voimaan-tullut uusi sähkömarkkinalaki, joka vaatii sähköverkolta parempaa toimitusvar-muutta rajujenkin sääilmiöiden aikana. (Fingrid Oy 2016; Energiateollisuus Oy 2016.)

Kantaverkkoyhtiö Fingridin mukaan kantaverkkoon tullaan investoimaan vuosien 2015 - 2025 aikana yhteensä 1,2 miljardia euroa. Vuositasolla tämä merkitsee noin 110 miljoonan euron investointeja. Investointien tavoitteena on rakentaa lä-hes 3000 kilometriä voimajohtoja ja noin 30 uutta sähköasemaa. (Fingrid Oy 2016.)

Nykyisin puhutaan paljon myös älykkäästä sähköverkosta. Älykkään sähköver-
kon tarkoitus on täydentää nykyisiä sähköverkkoja tietoliikenneverkolla ja älyk-käällä energian käytön seurannalla. Viime vuosina vaihdetut uudet älykkäät ener-giankulutusmittarit ovat olennainen osa älykästä sähköverkkoa. Älykkään sähkö-verkon tarkoituksena on saada tiedonsiirtoa niin verkkoyhtiöstä asiakkaalle, kuin toisinkin päin. Se parantaa verkon hallintaa, verkon käyttötapojen muuttuessa. (Energiateollisuus Oy 2016.)

3.3 Sähkömarkkinalain tuomat muutokset

Suomen sähköverkkaja on alettu kehittämään entistä säävarmemmaksi, uuden vuonna 2013 julkaistun sähkömarkkinalain myötä. Sähkömarkkinalain uudistus johtuu osaltaan siitä, että vuosina 2010 ja 2011 koettiin poikkeuksellisen kovia myrskyjä, jotka aiheuttivat suuria tuhoja sähköverkkoihin ympäri Suomea. Uusi sähkömarkkinalaki vaatii että kaikkien sähköverkkoyhtiöiden on parannettava toimitusvarmuuttaan seuraavasti:

- vuoden 2019 loppuun mennessä vaatimusten tulee toteutua vähintään 50 prosentilla jakeluverkon asiakkaista, pois lukien vapaa-ajan asunnot.
- vuoden 2023 loppuun mennessä vaatimusten tulee toteutua vähintään 75 prosentilla pois lukien vapaa-ajan asunnot
- vuoden 2028 loppuun mennessä kaikkien asiakkaiden kohdalla.
(Sähkömarkkinalaki 588/2013 17:119.)

Lain mukaan myrskystä tai lumikuormasta aiheutunut sähkökatko saa kestää enimmillään 6 tuntia kaupungeissa ja taajamien sisäpuolella. Taajamien ulkopuolella sähkökatko ei saa kestää yli 36 tuntia. Tämä aiheuttaa sähköverkkoyhtiöille suuria investointeja toimitusvarmuuden lisäämiseksi. Ilmajohtoja tullaan korvaamaan maakaapeleilla ja siirtämällä metsissä olevia ilmajohtoja teiden varsille.
(Sähkömarkkinalaki 588/2013 6:51.2.3.)

4 SÄHKÖVERKON RAKENNE

4.1 Suomen kantaverkko

Suomen Sähköverkot voidaan jakaa jännitetason perusteella siirto- ja jakeluverkoihin. Siirtoverkkoja Suomessa ovat johdot, joiden jännite on 400 kV, 220 kV ja 110 kV. Nämä verkot muodostavat valtakunnallisen kantaverkon yhdessä sähköasemien kanssa (Kuvio 1). Kantaverkon haltijana toimii Fingrid Oyj. Se vastaa kantaverkon hallinnasta ja toiminnasta, sekä valvoo sähkön vientiä ja tuontia naapurimaidemme välillä. (Fingrid 2016)



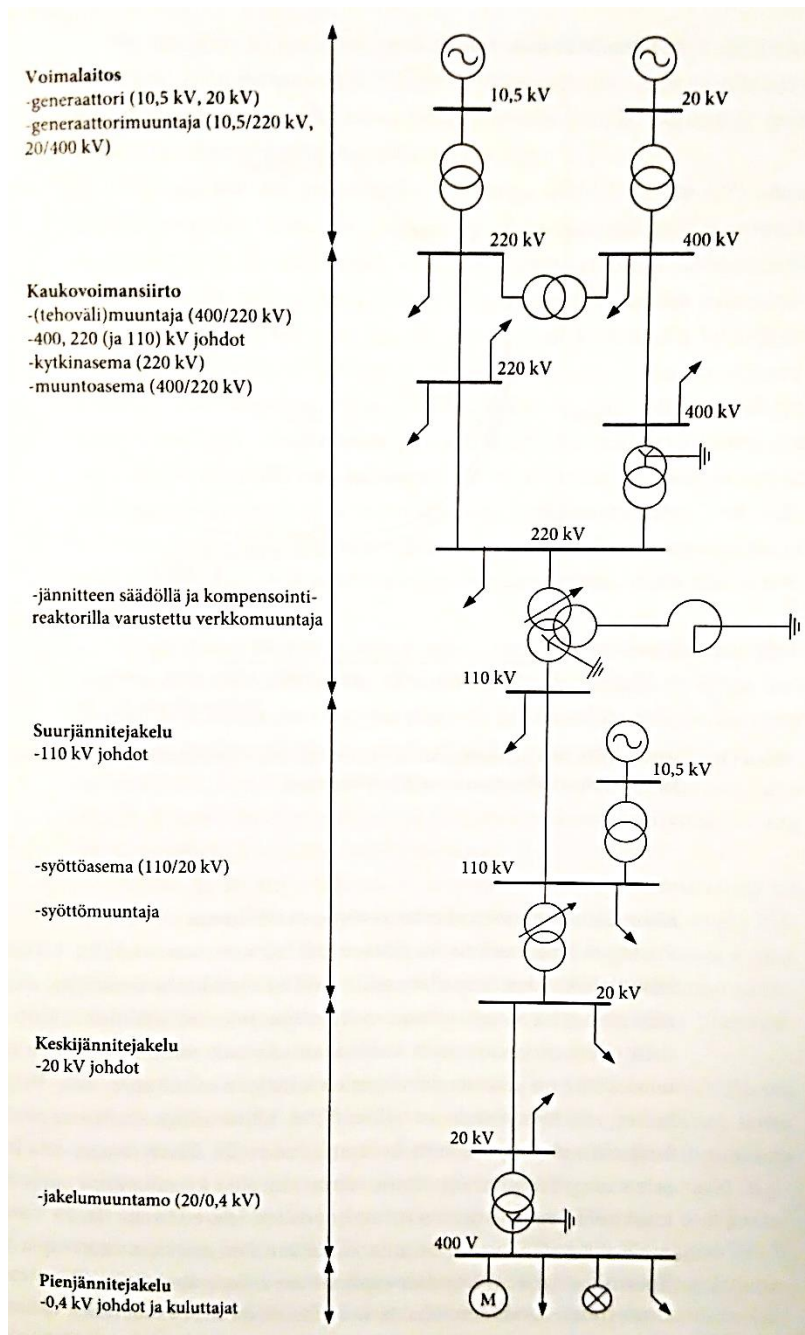
Kuvio 1 Suomen voimansiirtoverkko. (Fingrid Oy 2016.)

Kantaverkko on sähkönsiirron runkoverkko, siihen ovat kytköksissä suuret voimalaitokset ja tehtaات sekä alueelliset jakeluverkot. Lisäksi kantaverkosta on yhteydet Ruotsiin, Norjaan, Venäjälle ja Viroon. Tämä mahdollistaa sähkön viennin ja tuonnin naapurimaidemme kanssa. Kaiken kaikkiaan Suomen kantaverkkoon kuuluu:

- 4600 km 400 kV voimajohtoja
- 2300 km 220 kV voimajohtoja
- 7500 km 110 kV voimajohtoja
- noin 110 sähköasemaa. (Fingrid 2016)

Kantaverkoista sähkö siirretään alueverkkoihin. Alueverkkojen yleinen jännite-taso on 110 kV, mutta käytössä on myös 30 ja 45 kV jännitteisiä johtoja. Alueverkot ovat eri sähköyhtiöiden omistuksessa ja niiden kautta siirretään sähköä kantaverkosta sähköasemien kautta jakeluverkkoon. (Korpinen 1998, 1.)

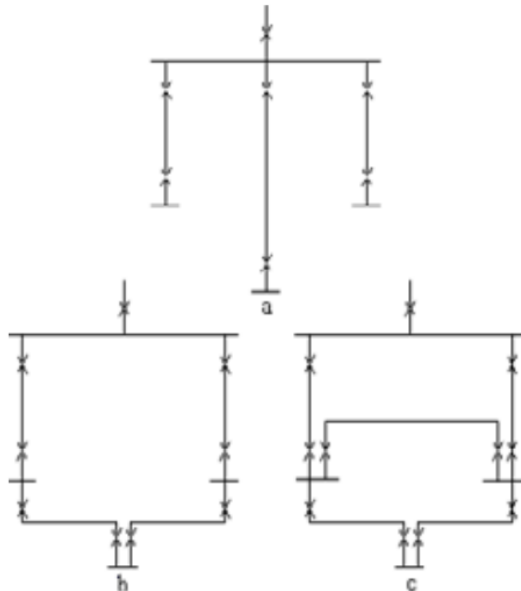
Jakeluverkkojen avulla sähköä siirretään kulutusalueilla pienille ja keskisuurille sähkönkäyttäjille. Jakeluverkot voidaan jakaa edelleen kahteen jännitetasoon, keski- ja pienjänniteverkkoihin. Kuvio 2 havainnollistaa sähkön siirto- ja jakelujärjestelmän periaatteellista rakennetta. (Korpinen 1998, 1)



Kuvio 2 Siirto- ja jakeluverkkojärjestelmän periaatteellinen rakenne. (Elovaara & Haarla 2011a, 55.)

4.2 Avoin ja suljettu verkko

Sähköverkot voidaan jakaa myös niiden rakenteensa perusteella avoimiin eli säteittäisverkkoihin ja suljettuihin eli silmukaverkkoihin (Kuvio 3). Säteittäisessä verkossa verkon kuormitukset saavat sähköä vain yhtä reittiä pitkin. Tämä on suljettua verkkoa epäluotettavampi ratkaisu, mutta toisaalta halvempi. Silmukoidussa verkossa sähköllä on useampi kulkutie. Tämä lisää verkon luotettavuutta, sillä yhden johdon vioittuessa sähkö voidaan siirtää eri reittiä eteenpäin. Silmukoidussa verkossa jännitteenalenema on pienempi ja tehohäviöt ovat myös pienempiä. Sen haittapuolina ovat kuitenkin suuremmat oikosulkuvirrat ja suo-
jauksen monimutkaisuus. (Korpinen 1998, 1-2.)



a) säteittäinen verkkomuoto. b) ja c) silmukoitu verkkomuoto. Kuvissa lyhyet vaakasuorat viivat kuvaavat kuormituspisteitä ja X:t kytkinlaitteina käytettäviä katkaisijoita./2/

Kuvio 3 Suomen sähköverkkojen rakenne. (Korpinen 1998, 2.)

4.3 Sähköverkon jännitetaso

Suomessa käytössä on pääasiassa kolmivaiheinen vaihtosähköjärjestelmä, joka toimii 50 Hz:n taajuudella. Vaihtosähköjärjestelmän jännitetasoista puhuttaessa, pääjännitteeksi kutsutaan kahden vaiheen välistä jännitettä ja vaihejännitteeksi kutsutaan yhden vaiheen ja maan välistä jännitettä. Vaihejännite voidaan määrittää pääjännitteen avulla, kun pääjännite jaetaan $\sqrt{3}$:lla. Vaihtosähköjärjestelmän lisäksi Suomessa on myös maan rajoja ylittäviä tasasähköyhteyksiä Ruotsiin, Vieroon sekä Venäjälle. (Korpinen 1998, 1; Fingrid 2016.)

4.4 Sähköasemat

Sähköasemat toimivat verkon monipuolisina jakeluyksikköinä ja niitä voidaan pitää verkon tärkeimpänä yksittäisenä osana. Suomessa sähköasemilla muunnetaan yleensä 110 kV:n jännite 20 kV:n jännitteeksi, joitain poikkeuksia lukuun ottamatta. Sen sijainti ja koko määrittelevät suurelta osin keskijänniterunkojohtojen pituudet, mitoitukset ja pitkälle myös varayhteydetkin. Sähköasemilla sijaitsee myös pääosa verkon suojaeleistyksistä ja muusta automaatiosta. (Lakervi & Partanen 2007, 119)

Sähköasemilla voidaan suorittaa kytkentöjä, muuntaa jännitettä tai keskittää ja jakaa sähköenergian siirto eri johdoille. Sähköasemat ovat sijoitettuna joko kiinteistöihin, tai ne ovat aidalla rajattuja alueita maastossa. Kiinteistöihin sijoitettuja sähköasemia kutsutaan kompakteiksi sähköasemiksi. Tällaisia sähköasemia käytetään taajamissa tilan rajallisuuden vuoksi. (Lakervi & Partanen 2007, 119.)

Sähköasemat koostuvat suurjännitekytkinlaitoksesta, yhdestä tai useammasta päämuuntajasta, keskijännitekytkinlaitoksesta ja apujännitejärjestelmästä käytöntukitoimintoineen. Haja-asutusalueella käytetään perinteisiä ilmaeristeisiä kytkinlaitoksia (Kuva 1). Taajamissa käytetään joko suur- tai keskijännitekytkinlaitoksia, molemmat ovat usein tilansäästö- ja ulkonäkösyistä SF₆-kaasueristeisiä. Sähköasemien yhteydessä voi olla myös kompensointilaitteistoja. Sähköasemien

sähköistä suunnittelua tehdessä tulee erityisesti huomioida jännite- ja oikosulkukestoisuudet sekä erityisesti oikosulkuvirroista syntyvät voimat ja niiden rasitukset tukirakenteisiin ja perustuksiin. (Lakervi & Partanen 2007, 119; Hietalahti 2013, 106.)



Kuva 1 110 kV sähköasema (Sähköasema 2016.)

Sähköaseman kallein komponentti on muuntaja. Tyypillisesti se on kooltaan 10 - 40 MVA. Normaalikäytössä päämuuntajaa ei yleensä voida käyttää nimellistehollaan, koska osa muuntokapasiteetista on varattava varatehoksi saman sähköaseman naapurimuuntajan tai naapurisähköasemien vikatilanteita varten. Päämuuntajan suojaus on monipuolinen, sillä sen pääsuojina ovat ylivirtarele ja differentiaalirele. Differentiaalisuoja sisältää toiminnot muuntajan sisäisten vikojen tunnistamiseen. Tällaisia vikoja ovat oikosulku, maasulku, käämisulku ja kierrossulku. (Lakervi & Partanen 2007, 121.)

Voidaan sanoa, että Suomen sähköverkko on tällä hetkellä sähköasemien puolesta kunnossa, sillä niiden rakentaminen on vähentynyt viime vuosien aikana.

Tähän on syynä sähkön käytön kasvun hidastuminen. Suomen sähköasemaverkosto on siis saavuttanut jonkinlaisen valmistumisen. Sähköasemien rakennetta on onnistuttu vuosien saatossa kehittämään niin, että pieniä ja rakenteeltaan yksinkertaisia sähköasemia on mahdollista toteuttaa aiempaa halvemmalla. Halvimmillaan sähköasemat maksavat päämuuntaja mukaan lukien 500 000 € tai jopa vähemmän. (Lakervi & Partanen 2007, 123.)

4.5 Keskijänniteverkko

Keskijännite Suomessa on useimmiten 20 kV, mutta joissain kaupungeissa käytössä on myös 10 kV:n jännitettä. Keskijänniteverkot on rakennettu monilta osin silmukkaverkoiksi, mutta niitä käytetään kuitenkin säteittäisenä. Keskijänniteverkko on joko maasta erotettu tai sammutettu sammutuskuristimen kautta. Sähköasemalta lähtevän keskijännitejohdon suojana ovat katkaisija ja siihen liitetyt ylivirtarele, maasulkurele ja jälleenkytkentärele. Avojohtoverkossa ei ole käytössä ylivirtasuojauksia kuormitusvirran suhteen, koska ylivirtarele toimii oikosulkusuojana. (Lakervi & Partanen 2007, 125.)

Suurin osa Suomen keskijänniteverkosta on rakennettu päällystämättömillä avojohdoilla. Avojohtojen etuna on se, että ne ovat edullisia. Tällöin rakennuskustannukset saadaan pidettyä alhaisina. Haittapuolina avojohdoilla voidaan pitää suurta tilantarvetta ja huonoa soveltuvuutta maisemaan. Johdinmateriaaleina käytetään alumiinia, alumiiniseoksia ja terästä. Haittapuolia on yritetty vähentää, kun keskijänniteverkot on rakennettu päällystetyllä avojohdolla eli PAS-johdolla. Tässä johtotyyppissä vaihejohtimien ympärillä on ohut muovieriste, jolloin johtimien yhteen osuminen ei aiheuta käyttöhäiriöitä eikä johdinvaurioita. Lisäksi johtotietä saadaan kavennettua huomattavasti. PAS-johto on tosin kalliimpaa kuin normaali avojohdo, joten se hieman nostaa rakennuskustannuksia. Tätä rakennusmenetelmää käytetään yleisesti maaseudulla, koska välimatkat ovat pitkät ja maakaapelointi olisi näin ollen huomattavasti kalliimpaa. Kaupungeissa ja taajamissa keskijänniteverkot pyritään rakentamaan maakaapeloimalla, sillä tällöin tilantarve on pienempi ja pylväävät eivät ole ihmisten näkyvillä. (Korpinen 1998, 5.)

Keskijänniteverkko vaikuttaa hyvin olennaisesti verkon käyttövarmuuteen. Jopa yli 90 % sähkönkäyttäjien kokemista keskeytyksistä on peräisin keskijänniteverkossa tapahtuvista vioista. Normaalin sähkönjakelutoiminnan lisäksi keskijänniteverkolla on myös hyvin keskeinen varayhteysrooli pahoissa 110 kV:n johtojen ja sähköasemien vioissa. (Lakervi & Partanen 2007, 125.)

4.6 Jakelumuuntamot

Jakeluverkon pienjännitepuolta syöttävällä jakelumuuntamolla muunnetaan useimmiten Suomessa käytössä oleva 20 kV jännite 0,4 kV jännitteeksi. Jakelumuuntamoita rakennetaan uudisrakennusalueilla, sekä vanhan verkon saneeraus- ja korjaus- ja kunnossapitotöissä. Jakelumuuntamon hinta määräytyy sen tehonsyöttötarpeesta, joten taajamissa muuntamon rakentaminen on yleensä kalliimpaa kuin maaseudulla. Maaseudulla on usein hajautettua kompensointia ja tämän vuoksi jakelumuuntamon yhteyteen voidaan joutua rakentamaan kompensointikone. Tällaista jakelumuuntamon ja kompensointikoneen yhdistelmää kutsutaan ns. maadoitusmuuntajaksi. Kompensointikoneen käyttäminen on kuitenkin aika harvinaista. (Lakervi & Partanen 2007, 157)

Jakelumuuntamo koostuu keskijännitekiskostosta, yhdestä tai useammasta jakelumuuntajasta, pienjännitelähdöistä sekä mahdollisesta apujännitejärjestelmästä. Pienjännitelähdöt liitetään jakelumuuntamoon jonovarokeytkimillä, iskoliitännällä tai oikosulkuveitsillä. Lisäksi jakelumuuntajalla voi olla myös KJ-sulakkeita, käsi- tai kaukokäyttöerottimia, muuntamon katkaisija sekä pienjännitepuolen pääkatkaisija. (Lakervi & Partanen 2007, 157)

Maaseudulla ilmajohtoverkoissa käytetään pylväsmuuntamoita, joiden nimellistehot ovat 50 ja 100 kVA. (Kuva 2). Niissä keskijännitejohto kytkeytyy yleensä erotimen kautta muuntajan ensiöliittimiin. Tällöin ei voida puhua keskijännitekiskostosta. Tavallinen suojaruste pylväsmuuntajilla on ylijännitesuoja, perinteisesti suojakipinäväli. (Lakervi & Partanen 2007, 157-158.)



Kuva 2 20kV/0,4 kV pylväsmuuntamo (Pylväsmuuntamo 2016.)

Taajamaverkoissa käytetään usein puisto- tai kellarimuuntamoa (Kuva 3). Jakelumuuuntamo toimii tällöin usein keskijännitekaapelirenkaan osana ja lähdöt on varustettu katkaisijoilla tai tehoerottimilla. (Lakervi & Partanen 2007, 158.)



Kuva 3 20kV/0,4kV puistomuuntamo (Puistomuuntamo 2016.)

Pienjänniteverkon vikavirta- ja ylikuormitussuojaus hoidetaan jakelumuuntamalla ja lisäksi mahdollisesti muuntajaa jäljempänä olevilla jakokaapeilla tai pylväissä. Suomessa muuntamon pienjännitepuolen jokainen lähtö suojataan sulakkeilla. Jakokaappien lähdöt suojataan jonovarokeytkimillä tai tehdään suorilla kiskoliitoksilla tai oikosulkuveitsillä. Saneerauskohteissa jakelumuuntamoilla yleensä parannetaan verkon liian suurta jännitteenalenemaa ja sulakekokoon nähden liian pientä vikavirtaa, jolloin vian automaattiseen poiskytkentään liittyvät säädökset eivät täyty. (Lakervi & Partanen 2007, 157)

4.7 Pienjänniteverkko

Kuten luvussa 4.6 todettiin, pienjänniteverkon jännitteenä käytetään yleisesti 400 voltia. 400 V:n lisäksi, pienjännitteenä voidaan käyttää myös 1000 V:n järjestelmää. Pienjänniteverkon vaihejännite on 230 V, ja useimmalle sähkönkäyttäjälle se on myös tutuin sähköverkon jännitetaso. Suurimmalle osalle sähkön käyttäjistä pienjänniteliityntä on sopivin liityntämuoto sähkölaitteiden käyttöjännitteen kannalta.

Pienjänniteverkoissa käytetään maadoitettua järjestelmää ja se rakennetaan lähes poikkeuksetta säteittäisiksi verkoiksi. Tämä tarkoittaa sitä, että verkossa on tavallisesti yksi syöttöpiste. Verkkoja rakennetaan niin maahan kuin ilmaankin verkkoyhtiöstä riippuen. Ennen pienjänniteverkoissa käytettiin avoimia ilmajohtoja, mutta nykyisin riippukierrejohtimet ovat korvanneet ne suurilta osin. Tunnetuin riippukierrejohtintyyppi on AMKA. Siinä kannatusköytenäkin toimivan nolajohtimen ympärille on kierretty polyeteenipäälysteiset vaihejohtimet. Vaihejohtimet ovat alumiinia ja kannatusköysi seosalumiinia. (Korpinen 1998, 5.)

Pienjänniteverkossa kuormitukset ovat pienjännitekulutuskojeita. Kuormitustiheys vaihtelee suuresti alueittain. Kaupungeissa kuormitustiheys voi olla megawatteja neliökilometrille, kun taas maaseudulla se voi enimmilläänkin olla vain kymmeniä kilowatteja. Taajamissa pienjännitekaapeleilla siirretään usein satojen kilowattien tehoja. Maaseudulla 16 kVA:n muuntajista siirretään tehoja, joiden keskiarvo voi olla jopa alle kilowatin. Tällainen suuri tehoero saman jännitetason

verkossa vaatii laajaa skaalaa ajatellen verkon komponenttien ominaisuuksia sekä verkon suojausta. Lisäksi pienjännitekojeet ovat erittäin yleisiä, joten senkin vuoksi pienjänniteverkon suojaukselta vaaditaan erittäin laajoja ominaisuuksia. (Lakervi & Partanen 2007, 159.)

4.8 1000 V jakelujärjestelmä

1000 V jakelujärjestelmä on hiljattain kehitetty jakelujärjestelmä. Sen tarkoituksena on vahvistaa metsien ja vesistöjen harvaan asuttujen alueiden jakelujärjestelmää. Sen avulla voidaan pienitehoiset ja vika-alttiit keskijännitejohtohaarat muuttaa kustannustehokkaasti 1000 V:n järjestelmäksi. Käyttövarmuus paranee, sillä jokainen 1000 V:n johtohaara muodostaa oman suojausalueensa. Näin muut samalla keskijännitesyötöllä olevat asiakkaat välttyvät sähkökatkolta vian sattuessa. (Lakervi & Partanen 2007, 168.)

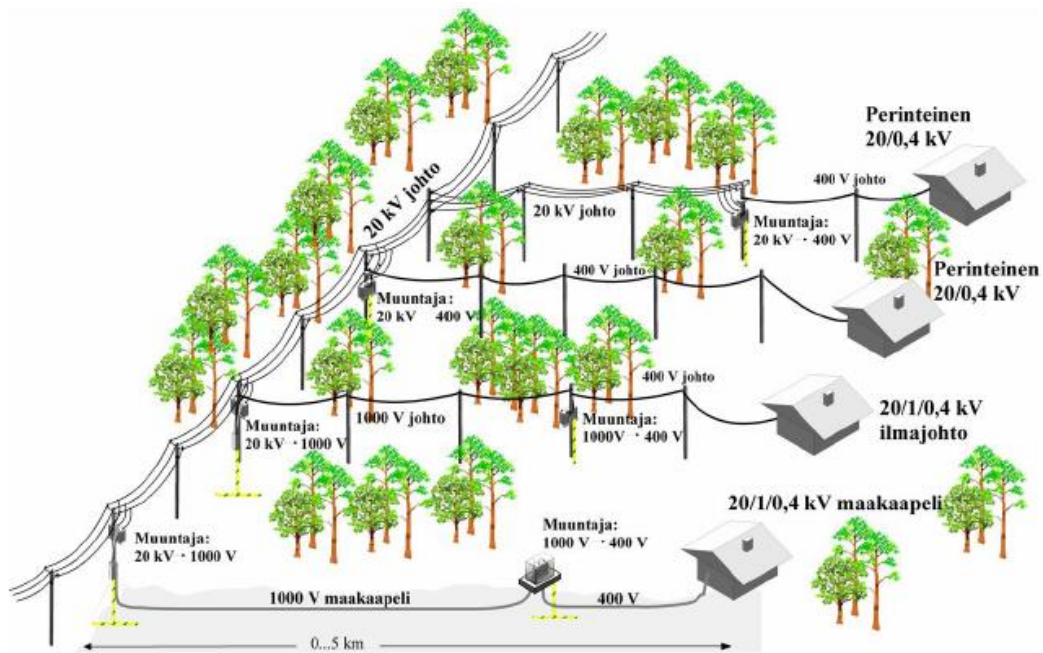
1000 V:n järjestelmässä voidaan käyttää käyttövarmuudeltaan avojohtorakennetta varmempia AMKA-riippukierrekaapeleita. Lisäksi perinteisessä 400 voltin järjestelmässä asiakkaan ja muuntamon välinen maksimietäisyys jää jännitteenalenneman vuoksi alle kilometriin. 1000 V:n järjestelmällä tätä etäisyyttä saadaan kasvatettua jopa 5 kilometriin saakka. (Lakervi & Partanen 2007, 168.)

Tyypillisesti 1000 V:n järjestelmää käytetään 20 kV:n johtojen korvaajina tilanteissa, joissa ilmajohtoverkossa haarajohtojen siirtoteho on alle 60 kW ja siirtomatkat välillä 1 - 5 km. Maakaapeliverkon korvaajina 1000 V järjestelmää käytetään, kun johtojen siirtoteho on alle 100 kW ja siirtomatkat välillä 1 - 5 km. (Lakervi & Partanen 2007, 168.)

1000 V:n järjestelmän merkittävin potentiaali on uudisrakennuskohteissa, joissa 1000 V:n johdoilla voidaan korvata keskijännitejohtoja. 1000 V:n järjestelmä on myös järkevä vaihtoehto, kun pienjännitemuuntopiiriin halutaan liittää uusia asiakkaita. Tällöin vältetään muuntopiirin jaolta ja erittäin vahvojen 400 V:n johtojen rakentamiselta. Taloudellinen ratkaisu syntyy yleensä, kun käytetään 20/1/0,4 kV:n kolmikäämimuuntajia. (Lakervi & Partanen 2007, 169.)

1000 V:n järjestelmä toteutetaan pienjännitejohtoilla, joten se ei tarvitse yhtä leveää johtokatua kuin 20 kV:n johto. Tällöin metsien luonnonmukaisuus ja varsinkin mökkialueiden herkäät maisema-arvot säilyvät. Lisäksi tilantarpeen vähentyessä maksettavien johtoaluekorvausten määrä pienenee ja maankäyttösopimusten saaminen helpottuu. 1000 V:n järjestelmä vähentää perinteistä muuntopiirien jakoa ja siten uusien 20/0,4 kV:n jakelumuuntajien määrää. Kokonaismuuntamoiden määrä kuitenkin lisääntyy tai pysyy samana 1/0,4 kV:n muuntamoiden vaikutuksesta. Yleensä 400 V:n verkko lyhenee, mutta verkon kokonaispituus pysyy kutakuinkin samana. (Lakervi & Partanen 2007, 169)

Kuviossa 4 on esitetty, kuinka 1000 V jakelujärjestelmä muuttaa perinteistä 20/0,4 kV:n jakelujärjestelmää.

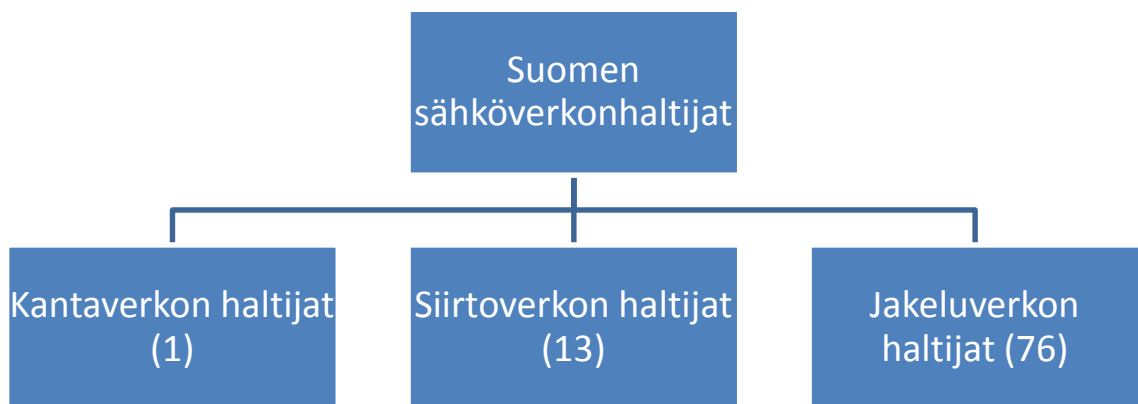


Kuvio 4 1000 V:n tekniikka 20 kV:n keskijännitejohtohaaran korvaajana. (LUT Energy 2011, 19.)

5 SÄHKÖVERKON RAKENTAMINEN

5.1 Sähköverkkoyhtiöt

Suomessa sähköverkkotoiminta on luvanvaraista monopolitoimintaa, joten siihen tarvitaan Energiaviraston myöntämä verkkolupa. Verkkotoimintaa harjoittavat yhtiöt voidaan nimetä toimintatapansa mukaan, kanta- siirto- tai jakeluverkonhaltijoiksi (Kuvio 5). Nimitys riippuu siitä, mitä verkkopalveluita yhtiö harjoittaa. (Energiavirasto 2016.)



Kuvio 5 Suomen sähköverkkoyhtiöiden toimintamallit.

Kaiken kaikkiaan Suomessa toimii 90 eri sähköverkonhaltijaa. Suurin osa näistä yhtiöistä ovat kunnan tai kuntaenemmistöisen osakeyhtiön omistuksessa. Omistajina voi olla myös muita suuryhtiöitä, kuten Suomen suurimmalla sähköverkkoyhtiö Carunalla ja kantaverkkoyhtiö Fingridillä on. Carunan suurimmat omistajat ovat kansainväliset infrastruktuurisijoittajat First State Investments ja Borealis Infrastructure, jotka yhdessä omistavat 80 % Carunasta. Kantaverkkoyhtiö Fingridin omistajuus on jakautunut Suomen valtion ja muiden yhtiöiden kesken. Valtio omistaa Fingridistä noin 53 % ja Keskinäinen Eläkevakuutusyhtiö Ilmarinen noin 20 %. Noin 27 %:n loppuomistajuus jakaantuu muiden osakkaiden kesken, joita pääosin ovat eläkevakuutus- ja vakuutusyhtiöt. (Caruna 2016; Energiateollisuus 2016.)

Sähköverkonhaltijat vastaavat verkon ylläpidosta sekä sen kehittämisestä, sähkön siirrosta ja sähkönkäyttöpaikkojen ja tuotantolaitosten liittamisestä sähköverkkoon. Verkkohaltijoiden pääasiallisena tehtävänä on taata sähköverkon toiminta ja varmistaa sähkönlaadun riittävyys. (Energiavirasto 2016.)

Kanta- ja siirtoverkonhaltijoiden erona jakeluverkonhaltijoihin on se, ettei niillä ole mitään maantieteellistä vastuualuetta. Jakeluverkkoyhtiöillä taas on yksinoikeus rakentaa oman alueensa jakeluverkkoa. Nykyään kuitenkin sähköverkkoyhtiöt yhä enemmän ovat vain rakennuttajia, eli ne ostavat verkkotoimintaan kohdistuvan asennus- ja huoltotoiminnan ulkopuoliselta urakoitsijalta. (Energiavirasto 2016.)

5.1.1 Urakointimallit

Verkostourakoinnissa urakkamuodon valinta on hyvin tärkeää, jotta saadaan juuri oikeanlainen ja toimiva toteutustapa. Suurin osa verkonrakennusurakoitsijoista suosii kokonaisvastuurakentamisen tyyppistä toteutusmuotoa, mutta myös muita toteutusmuotoja on käytössä. Toteutusmuodon suosioon vaikuttavat hyvin paljon yrityksen koko ja toimintatapa. Pienet yritykset eivät välttämättä pysty toteuttamaan kuin pieniä aliurakoita ja suuret yritykset taas voivat toteuttaa hieman laajempiakin kokonaisuuksia. Sopivan urakkamuodon valinnalla toteutuksesta saadaan kokonaistaloudellinen, sekä säästetään kustannuksia. Urakkamuodon valinta vaikuttaa myös urakoitsijan vastuisiin ja velvoitteisiin. Verkkoyhtiön kannalta asiaa katsottuna oikealla urakkamuodolla saadaan vastuita ja velvoitteita siirrettyä toiselle osapuolelle. Näin ollen työtaakkaa saadaan kevennettyä ja riskit omassa toiminnassa pienennettyä. (Rajala 2012, 16)

Urakkamuodot ja -sopimukset voidaan ryhmitellä kustannus- ja aikariskin jakautumisen perusteella:

- kokonaishintasopimukseen, missä urakalle on sovittu kiinteä kokonaishinta
- tavoitehintasopimukseen, joissa kustannusriski on jaettu sopimalla urakalle tavoitehintaa. Monesti urakalle on sovittu kattohintaa. Mikäli kattohintaa alittuu urakoitsija saa tietyn hyvityksen alituksesta, jos

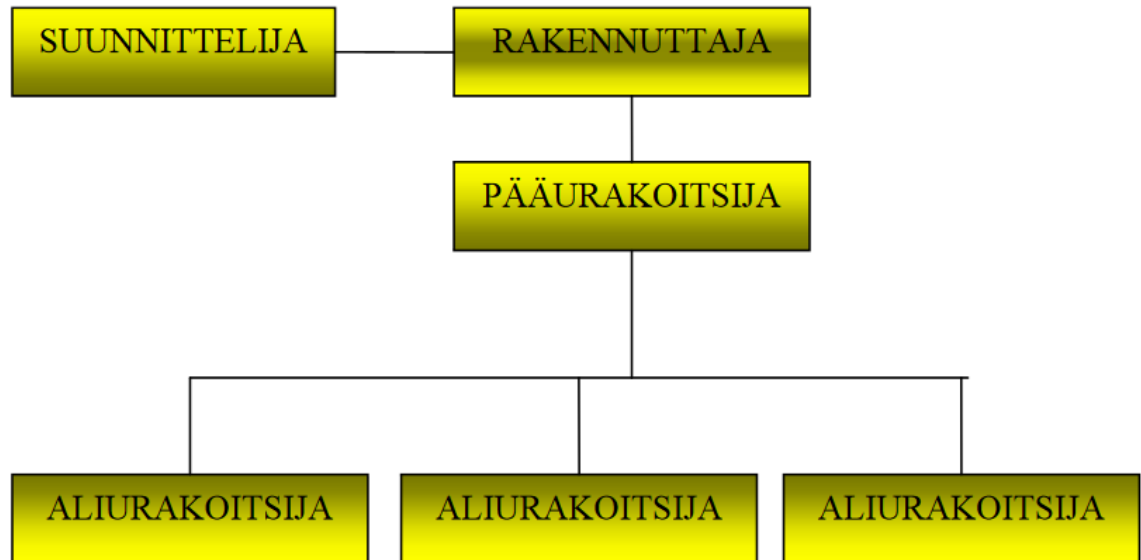
kattohinta ylittyy, joutuu urakoitsija maksamaan ylitetyn osan rakennuttajalle

- yksikköhintasopimukseen, joissa rakennuttaja maksaa urakoitsijalle suoritteiden määrän yksikköhintojen perusteella
- työnjohtosopimukseen, joissa johtaminen on urakka- ja muu laskutyötä.
- laskutyöhön, jossa urakoitsija laskuttaa välittömät kustannukset sekä laskutyöpalkkion. Rakennuttaja vastaa suunnittelusta ja ns. tuotantotehtävien määrittelystä. (Rajala 2015, 16-17.)

Kustannus- ja aikariskin jakautumisen lisäksi urakkamuodot voidaan jakaa työ- ja vastuujaon mukaisesti:

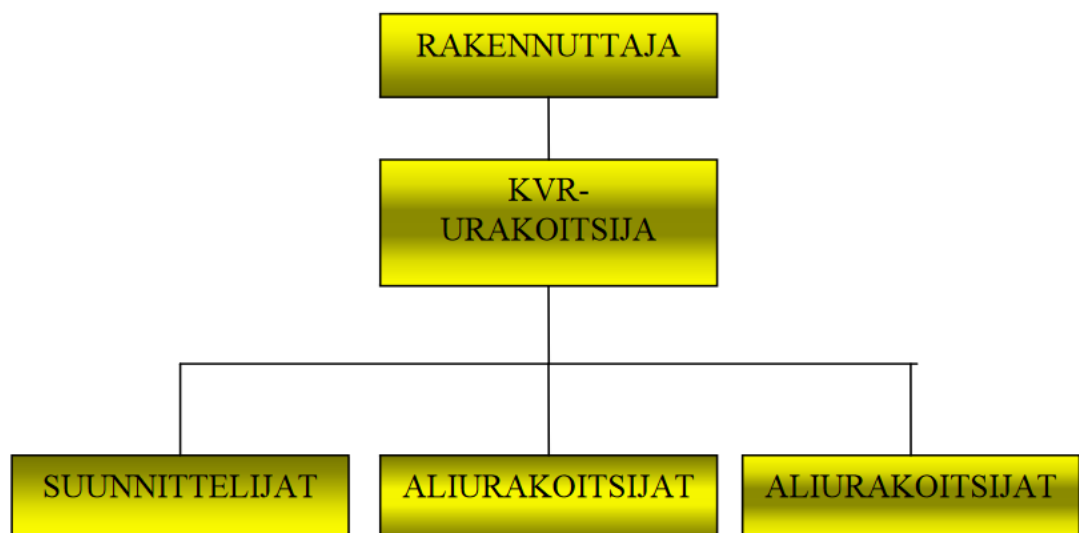
- rakennuttajan omaan työhön
- projektinjohtourakkaan
- kokonaisurakkaan, jossa hankkeen toteutuksesta vastuu siirretään pääurakoitsijalle, joka voi puolestaan käyttää osatehtävien suorittamiseen aliurakoitsijoita
- jaettuun urakkaan, jossa rakennuttaja jakaa urakoitsijat vastaamaan urakan eri tehtävistä
- KVR-urakkaan eli kokonaisvastuurakentamiseen, jossa pääurakoitsija vastaa myös suunnittelun toteutuksesta. (Rajala 2012, 17.)

Näistä urakkamuodoista yleisimmät ja tavanomaisimmat ovat kokonaisurakka ja KVR-urakka. Kokonaisurakassa rakennuttajalla on sopimus vain yhden urakoitsijan kanssa. Pääurakoitsija voi toteuttaa tarvittavat erikoistyöt aliurakointina. Yleensä kokonaisurakassa pääurakoitsijana toimii sähköverkkourakoitsija ja maankäyttötyöt ostetaan aliurakointina. Kuviossa 6 on havainnollistettu kokonaisurakan periaatteellista toimintamallia. (Rajala 2012, 21.)



Kuvio 6 Kokonaisurakan periaatekaavio. (Rajala 2012, 21.)

KVR-urakassa rakennuttaja luovuttaa vastuun urakan koko toteutuksesta urakoitsijalle. Urakoitsija huolehtii kokonaisuudessaan rakennuskohteen toteuttamisesta, suunnittelusta ja hankkeen kokonaiskoordinoinnista. KVR-urakoitsija tekee urakan aikana omia suunnittelu- ja aliurakkasopimuksia ja toimittaa urakan rakennuttajalle avaimet käteen periaatteella. Kuviossa 7 on havainnollistettu KVR-urakoinnin periaatteellista toimintamallia. (Rajala 2012, 26)



Kuvio 7 KVR-urakoinnin periaatekaavio. (Rajala 2012, 26.)

KVR-tyyppinen rakentaminen sopii mainiosti melkein mihin tahansa verkostourakointiin. KVR-tyyppinen urakointi on kuitenkin paras ratkaisu uuden rakentamiseen, tiukalla aikataululla. Kokonaisvastuurakentamisella saavutetaan myös etuja vastuisiin ja velvollisuuksiin liittyen. Vaikka vastuun määrä kasvaa, kasvaa myös urakoitsijan päätäntävalta, urakan suunnittelusta ja toteutuksesta. (Rajala 2012, 26.)

5.1.2 Vuosisopimustyöt

Sähköverkkoyhtiö voi jakaa oman verkkoalueensa eri urakointialueisiin ja kilpailuttaa ne urakoitsijoiden kesken. Tyypillisesti vuosisopimustöissä urakoitsija vastaa oman alueensa pienrakentamisesta, kunnossapidosta, verkkopalveluista ja vianhoidosta. Vuosisopimustyöt solmitaan verkkoyhtiön ja urakoitsijoiden kesken useimmiten useammaksi vuodeksi. Näin verkkoyhtiö saa vähennettyä omaa vastuuta verkon ylläpidosta. (Rajala 2012, 54)

Sähköverkkourakoitsijan näkökulmasta vuosisopimukset takaavat töitä useammaksi vuodeksi ja urakoitsija voi näin tehdä kalustohankintoja, sekä lisätä henkilöstöä yritykseensä. Toisaalta pitempiaikainen sopimus tuo myös paljon vastuuta ja työtä. Tämän vuoksi vuosisopimuksia solmiessaan urakoitsijan on oltava varma kykeneväsyydestään hoitaa oman alueensa vuosisopimuspiiriin kuuluvat työt.

5.1.3 Yksittäiset projektit

Yksittäiset projektit ovat verkkoyhtiön rakennuskohteita, jotka kilpailutetaan urakoitsijoiden kesken. Yksittäiset projektit voivat olla 10 - 80 km pitkiä maakaapelointi tai avolinjan rakennuskohteita. Yksittäisiä projekteja toteutetaan yhtenä kokonaisuutena eli niitä ei jaeta ns. osaprojekteiksi.

5.1.4 Raamisopimukset

Sähköverkkoyhtiöt voivat jakaa oman jakelualueensa tulevat rakennuskohteet ns. raameihin. Yksi raami sisältää monta urakkaa ja urakat jaetaan vielä projektialueisiin. Raamit ovat kaiken kaikkiaan hyvin laajoja alueita, jotka verkkoyhtiö kilpailuttaa urakoitsijoiden kesken. Raamisopimuksien perusidea on sama kuin vuosisopimustöidenkin: verkkoyhtiö saa ulkoistettua sekä helpotettua omaa toimintaansa.

Raamisopimukset ovat monivuotisia säävarman verkon rakentamiseen liittyviä sopimuksia, joiden aikana urakoitsija vastaa sopimusalueellaan toteutetuista isoista jakeluverkon urakoista. Raamiprojektit voivat olla laajuudeltaan useita satoja kilometrejä keskijännitelinjan maakaapelointia. Keskijännitelinjan maakaapeloinnin yhteydessä voidaan rakentaa satoja uusia maaseutu- tai puistomuuntamoita ja maakaapeloida pienjännitelinjaa muuntamoilta kuluttajille. (Hirvonen 2013, 9)

5.2 Toteutustavat säävarman verkon rakentamisessa

Monet yllättävät sääilmiöt, kuten rajut myrskyt, ovat aiheuttaneet suuria katkoksia sähkönjakelussa. Myrskyt ovat rikkoneet verkon rakenteita ja aiheuttaneet verkkoyhtiöille suuria korjauskustannuksia. Näiden seikkojen vuoksi sähköverkkoa suunnitellessa yhä enemmän huomioidaan sään vaikutus sähköverkon toimintaan.

Säävarmalla verkolla tarkoitetaan sitä, että sähköverkko on suojattu sään aiheuttamilta jakelukeskeytyksiltä. Yleisin syy jakelukeskeytykseen on puiden kaatuminen linjan päälle, esimerkiksi kovan tuulen vuoksi. Talvella puiden oksilla olevat paksut lumikerrokset voivat aiheuttaa myös jakelukeskeytyksiä sähköverkkoon. Monesti metsissä kulkevat johtotiet ovat ajan saatossa kaventuneet puuston kasvun vuoksi ja näin verkko on entistä herkempi sään aiheuttamille vioille. (Niemi 2014, 8)

Säävarmaa verkkoa suunniteltaessa on hyvä ottaa huomioon ilmaston muuttuminen ajan saatossa, sillä verkon komponenttien keskimääräinen käyttöaika on 45 vuotta. Ilmatieteenlaitoksen tutkimusten mukaan tulevaisuudessa tuulet tulevat voimistumaan ja erityisesti länsituulet lisääntyvät. Lisäksi ilmaston lämmetessä maan routa-aika lyhenee ja se tulee lisäämään puiden kaatumisherkkyttä syksyllä ja alkutalvesta. (Ilmatieteenlaitos 2016.)

5.2.1 Keskeisimmät huomiot keskijänniteverkkoa rakennettaessa

Kuten luvussa 4.5 on todettu, keskijänniteverkot on rakennettu pääasiassa päällystämättömillä avojohdoilla. Nykyään luotettavuuden ollessa keskeisin reunaehto, uudet sähköjohdot pyritään rakentamaan mahdollisuuksien mukaan teiden varsille käyttövarmuuden parantamiseksi ja huoltotoiminnan helpottamiseksi. Kokemukset tienvarteen rakentamisesta ovat olleet positiivisia, sillä vikojen määrä on vähentynyt lähes puoleen suhteessa metsässä olevaan sähköverkkoon. Lisäksi vikapaikan todentaminen on helpottunut, kun sähkölinjat ovat ihmisten nähtävillä. (Lakervi & Partanen 2007, 143)

Toisaalta tällainen rakennustyyli tuo mukanaan myös joitain ongelmia. Avoimella alueella sijaitseva sähköverkko on herkempi ukkosen aiheuttamille vioille, kuten ylijännitteille. Ylijännitteet voivat rikkoa verkon komponentteja ja näin aiheuttaa suurenkin vian sähköverkkoon. Ongelmana teiden varsille rakentamisessa on myös teiden ylläpitäjien vastustus, sillä liian lähelle rakennettu johto voi olla este tien kunnossapidolle. Lisäksi teiden varsilla olevat johdot voidaan kokea maise-mahaitaksi. Tätä pidetään yleisesti kuitenkin pienempänä haittana, kuin se että sähköverkot rakennettaisiin näkymättömäksi maanomistajien maille. (Lakervi & Partanen 2007, 143.)

Nykyisillä maankäyttökorvauksilla tien laitaa rakentaminen ei yleensä johda metsää kalliimpaan vaihtoehtoon. Kokonaisjohtopituudet eivät paljoa pitene ja tienlaidassa kulkeva johto on yleensä lähempänä varsinaisia kuormituspisteitä. Teiden varsille rakentaminen on myös metsään rakentamista ympäristöystävälli-

sempää, sillä siinä hyödynnetään jo kertaalleen raivattuja reittejä. Lisäksi tienvarrelle rakennettaessa johtolinja pyritään sijoittamaan todennäköisen tuulen suunnan puolelle. Tällöin puiden kaatuminen linjan päälle on epätodennäköisempää. (Lakervi & Partanen 2007, 144.)

Keskijänniteverkkoja rakennetaan myös maakaapeloinnilla. Maakaapeloinnilla on parempi käyttövarmuus, mutta vian paikantaminen on hankalampaa. Lisäksi keskijänniteverkon rakentaminen maakaapeloinnilla on kallista. Yleisenä keskijänniteverkon kaapeloinnin perusohjeena voisi olla esimerkiksi se, että keskijännitejohto kaapeloidaan, kun ollaan taajamien keskustoissa tai kun johdon sisältävä kuormitus koostuu pääosin palvelu- ja teollisuusasiakkaista. (Lakervi & Partanen 2007, 146.)

Kaapeleiden hyvä käyttövarmuus korostuu suurhäiriötilanteissa. Kaapelointi onkin lähes ainoa tapa ehkäistä pahojen myrskyjen ja suurien lumikuormien avojohtoverkoissa aiheuttamia laajoja ja pitkäkestoisia keskeytyksiä.

5.2.2 Keskeisimmät huomiot pienjänniteverkkoa rakennettaessa

Pienjännitepuolella perinteinen verkon toteutusratkaisu on ollut pylväsmuuntamo ja AMKA-riippukierrehjoilla toteutettu pienjänniteverkko. Maakaapeloinnin käyttö on yleistynyt tilanteissa, joissa kaapelin asennus voidaan tehdä auringon alla. Yleensä aurasmenetelmässä suositetaan tien laitoja ja pohjia käyttömahdollisuuksien mukaan. Tällöin maakaapelointiverkon kokonaispituus tulee yleensä jonkin verran AMKA-verkkoa pidemmäksi. Rakentamisnopeus vaihtelee maaperän kovuuden mukaan. Parhaimmillaan päivän aikana saadaan vedettyä useita kilometrejä kaapelia. (Lakervi & Partanen 2007, 160.)

Pienjänniteverkon rakentaminen maakaapeloinnilla ei juurikaan ole ilmajohtorakentamista kalliimpi ratkaisu. Pienjännitekaapelin ja AMKA-johdon hintaero ei ole suuri, joten aurasmenetelmää käyttäen maakaapelointi voi olla ilmajohtoverkkoa jopa edullisempi ratkaisu. Lisäksi maankäyttösopimusten neuvottelut ovat

yleensä helpompia maakaapelointia käytettäessä. (Lakervi & Partanen 2007, 160.)

Maakaapeliverkon joustavuus erilaisiin verkkomuutoksiin ja vahvistuksiin on AMKA-verkkoa hankalampaa. Verkkoa suunniteltaessa mitoitusteho kannattaa mitoittaa melko pitkän aikavälin ennusteesta. Tietyissä tilanteissa maakaapeliverkon runkokaapeleina kannattaa käyttää aina saman poikkipinnan omaavia kaapeleita, tarpeen vaatiessa rinnakkaisia kaapeleita käyttäen. Tällöin verkkoa on helpompi täydentää, olosuhteiden ehkä perusteellisestikin muuttuessa kaapelien pitkän käyttöiän aikana. AMKA-verkon rakentaminen on edelleen maakaapelointia parempi ratkaisu tilanteissa, joissa verkkoon tiedetään tulevan suuria muutoksia joita on hankala ennalta suunnitella. (Lakervi & Partanen, 161.)

Sähkökäyttäjien näkökulmasta suurhäiriöiden aiheuttamat viat ovat hyvin ongelmallisia, sillä verkkoyhtiöt keskittyvät ensisijaisesti korjaamaan keskijänniteverkossa olevat viat. Tällöin AMKA-verkkoa käyttävän yksittäisen sähkökäyttäjän keskeytysaika voi olla hyvinkin pitkä, vaikka vika olisi helposti korjattavissa. Maakaapeloinnilla tällaisia ongelmia saadaan vähennettyä olennaisesti. (Lakervi & Partanen 2007, 161.)

6 SÄHKÖVERKON SUUNNITTELU

6.1 Sähköverkon suunnittelun pääperiaatteet

Sähköverkkoa suunniteltaessa on huomioitava monia eri asioita ennen projektin aloittamista, kuin sen edetessäkin. Sähköverkkoa suunnitellessa tärkeimmät päätavoitteet ovat:

- Sähkönsiirron ja -jakelun on oltava taloudellista. Tällä tarkoitetaan sitä, että verkkoon ei saa investoida enempää, kuin on tarpeellista. Lisäksi taloudellisten häviöiden on oltava mahdollisimman pienet.
- Siirron ja jakelun on oltava luotettavaa. Tavallisimmat verkossa ilmenevät viat eivät saa aiheuttaa sähköntoimituksen keskeytystä.
- Verkon komponenttien on oltava pitkäikäisiä ja luotettavia. Niiden on kestettävä verkossa esiintyvät mekaaniset ja sähköiset rasitukset.
- Sähkönsiirto ja -jakelu eivät saa aiheuttaa vaaraa ihmiselle eikä omaisuudelle tai kohtuuttomasti häiritä ympäristöä. (Elovaara & Haarla 2011a, 73.)

Osa laatukriteereistä liittyy toimitusvarmuuteen, mutta osa niistä liittyy sähkön teknisiin ominaisuuksiin, kuten jännitteen ja taajuuden sallittuun vaihtelualueeseen, jännitekuoppien määrään, suuruuteen ja kestoon sekä jännitteen yliaaltojen määrään. (Elovaara & Haarla 2011a, 73.)

Sähköverkon toiminnan lähtökohta on se, että verkon on toimittava mahdollisimman hyvin ilman vaurioita tai muita ei-toivottuja seuraamuksia myös erilaisten viikatilanteiden aikana. Sähköstä on tullut viime vuosikymmenien aikana yhteiskunnalle jo välttämättömyyshyödyke, joten pitkäaikaiset sähkön toimituskatkot koetaan erittäin kiusallisiksi ja toisinaan ne aiheuttavat melko suuria haittoja. (Elovaara & Haarla 2011a, 73.)

Tyypilliset reunaehdot sähköverkkoa suunnitellessa ovat:

- Jännitteenalenema ei saa olla sallittua raja-arvoa pienempi.
- Johtojen termistä kestoisuutta ei saa ylittää.
- Johtojen tulee olla oikosulkukestoisia.
- Suojauksen toimivuuteen liittyvien määräysten tulee täyttyä, esimerkiksi maasulkusuojauksen puolesta.
- Sähköturvallisuuteen liittyvien määräysten tulee täyttyä, esimerkiksi maadoitusjännitevaatimukset. (Lakervi & Partanen 2007, 64.)

Sähköverkon suunnittelu voidaan jakaa kahteen osaan, lyhyen aikavälin ja pitkän aikavälin suunnitteluun. Lyhyen aikavälin suunnittelussa tehdään rakennusohjelmat noin viiden vuoden tarkastusjaksolle. Verkon rakennusohjelman perusteella laaditaan yksityiskohtaisemmat suunnitelmat sähköasemien ja johtojen rakenteesta ja varusteista. Pitkän aikavälin tarkastelu aika on puolestaan 5 - 15 vuotta. Se käsittää pääsuuntaviivat sekä yleissuunnitelman. Pitkän aikavälin suunnittelussa pyritään määrittämään ne toimet, joilla sähköverkkoa tulisi suunnittelujakson aikana kehittää. Suunnittelussa mietitään, mitä suuria ja laajasti vaikuttavia investointeja täytyy tehdä vuosien aikana, jotta verkko täyttäisi sille asetetut vaatimukset. Suunnitelma toimii myös samalla pohjana yksityiskohtaisempaa suunnitelmaa tehdessä. (Elovaara & Haarla 2011a, 73; Lakervi & Partanen 2007, 64.)

Sähköverkon suunnittelussa keskeisimmät vaiheet ovat projektin aloitus, sähköinen suunnittelu, maastosuunnittelu, maanrakennus ja sähkötyöt sekä lopuksi dokumentointi. Näiden vaiheiden aikana suunnittelija joutuu selvittämään monia erilaisia ongelmia sekä joutuu olemaan yhteydessä viranomaisiin, maanomistajiin, rakennuttajaan sekä rakentamisen toteuttaviin urakoitsijoihin.

6.2 KVR-urakan suunnitteluosuuden kilpailutus ja aloittaminen

Projekti alkaa kilpailutuksella. Kilpailutuksen aikana tehdään projektin sisältöarvio, jossa määritetään toimenpiteiden määrä sekä arvioidaan kulkukustannus- ja kustannusarvio. Lisäksi tulee tutkia projektiin tarvittavia henkilöresursseja. Mikäli projektiin ei ole kiinnittää tarpeeksi suunnittelijoita tai on vaarana, että projektin suunnitteluosuuden toteutus voi viivästyä, ei projektista kannata jättää tarjousta.

Kun kulkukustannus- ja kustannusarvio on saatu tehtyä ja henkilöresurssit varmistettua voidaan projektista jättää tarjous. Mikäli pääurakoitsija hyväksyy tarjouksen, voidaan aloittaa varsinainen tutustuminen projektiin. Tällöin selvitetään mm. projektin tarkempi sijainti eli tarkastellaan maastoa ja mahdollisia ongelmakohtia, joita rakennusvaiheessa voi tulla. Tutustumisen aikana myös selvitetään, onko rakennusalueella tien alituksia, vesistöjä tai luonnonsuojelualueita, joihin joudutaan pyytämään erillinen rakennuslupa. Samalla selvitetään näiden yllämainittujen alueiden yhteyshenkilöt, joilta lupa-asioista voidaan jo etukäteen tiedustella.

Ennen projektin varsinaista suunnittelun aloittamista pidetään projektin rakennuttajan ja pääurakoitsijan kanssa aloituspalaveri, jossa käsitellään projektin toteutukseen liittyviä tärkeimpiä asioita, kuten aikataulutus, maksuerät, raportointitavat sekä selvitetään projektiin liittyvät mahdolliset riskit.

6.3 Sähköinen suunnittelu

Sähköisessä suunnittelussa määritetään rakennettavan verkon alustava reitti sekä sähköiset arvot. Suunnitelmassa selvitetään verkkorakenteiden paikat, määritetään johtojen ja kaapeleiden poikkipinnat, lähtöjen varoke- ja sulakekoot, muuntajakoneiden koot, kompensoinnin tarve ja releasettelut. Suunnitelman valmistuttua voidaan verkon toimivuus varmistaa suunnittelulaskennalla.

Sähköisen suunnittelun toimintamallit vaihtelevat sen mukaan, toteuttaako sähköisen suunnittelun itse verkkoyhtiö vai suunnittelufirma. Suunnittelufirman toteuttaessa sähköisen suunnittelun on yleistä, että suunnitelma on lähetettävä verkkoyhtiölle tarkastettavaksi. Verkkoyhtiö joko hyväksyy suunnitelman tai voi vaatia korjauksia, mikäli suunnitelman jokin osa ei vastaa heidän vaatimuksiaan.

6.3.1 Huomioita keskijänniteverkon sähköiseen suunnitteluun

Tärkeimpiä suunnittelun periaatteita ovat taloudellisuus, toimintavarmuus ja se, että verkon reunaehdot täyttyvät. Keskijänniteverkon suunnittelu Suomessa on pääasiassa jo olemassa olevan verkon saneerausta, sillä uusien keskijänniteverkkojen rakentamiskohteita ei juurikaan ole. (Elovaara & Haarla 2011a, 160.)

Keskijänniteverkon rakentaminen vaatii pitkälle tulevaisuuteen ulottuvaa koko verkon kehittämissuunnitelmaa, sillä keskijänniteverkon yksikkökustannukset ovat suuria ja tehdyt verkostoinvestoinnit vaikuttavat voimakkaasti myös verkoston muiden osien kehittämistarpeeseen. Kauas ulottuvan kehittämissuunnitelman perusteella voidaan tehdä myös yksittäiset verkon kehittämistoimet. Keskijänniteverkon suunnittelussa on vastattava kysymykseen, mitä ja missä on tehtävä sekä milloin kannattaa tehdä. (Elovaara & Haarla 2011a, 160)

Oman haasteensa keskijänniteverkon suunnitteluun tuovat myös tiukentuneet ehdot jakelun keskeytysten osalta. Periaatteena on ollut, että sähkönjakelua on pystyttävä jatkamaan verkon terveiden osien kautta kaikissa yksittäisissä vikatilanteissa. Tämä luo myös suuremmat vaatimukset viallisen verkon osan irtikytkenälle. Tällöin on jouduttu parantamaan myös verkon kytkinlaitteiden kauko-ohjausta ja automatiikkaa. Lisäksi sähkönkäytön lisääntyminen on aiheuttanut sähköverkkoon suurempia jännitekuoppia, joten tämänkin vuoksi sähköverkolta vaaditaan yhä suurempia vaatimuksia. (Elovaara & Haarla 2011a, 160.)

Keskijänniteverkon hyvään suunnittelulaskentaan kuuluvat seuraavat laskentamenetelmät:

- verkon tehojaon laskeminen
- verkon oikosulkuvirtojen laskeminen
- verkon maasulkuvirtojen laskeminen
- verkon luotettavuustunnuslukujen tai käyttövarmuuden laskeminen
- kuormitusennusteiden laatiminen
- verkon optimointi eli investointien paikan ja laadun määrittäminen
- investointien ajoituksen optimoiminen. (Elovaara & Haarla 2011a, 161.)

6.3.2 Huomiota pienjänniteverkon sähköiseen suunnitteluun

Pienjänniteverkon keskeisimmät ehdot ja tavoitteet suunnittelun ja mitoituksen osalta ovat:

- taloudellisuus
- kuormituskestoisuus
- oikosulkukestoisuus
- jännitetaso
- jännitevaihtelut
- ensimmäisen nolausehdon toteutuminen. (Elovaara & Haarla 2011a, 157.)

Pienjänniteverkon suunnittelussa on huomioitava myös taloudellisuusvertailut sekä pienjänniteverkon teknisten reunaehtojen täyttyminen. Taloudellisuusvertailussa on huomioitava investoinnit sekä tarkasteluaikana syntyvien verkostohäviöiden aiheuttamat kustannukset. Teknisten reunaehtojen osalta pienjänniteverkon suunnittelun huomio kiinnittyy verkkokomponenttien termiseen kuormitettavuuteen ja kuormitussolmujen jännitteenalenemiin. Termisen kuormitettavuuden

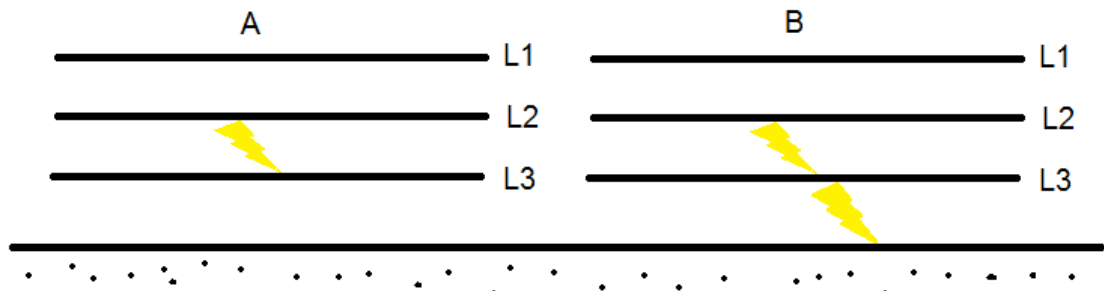
ja jännitteenalenemien lisäksi on laskettava suunnitellun verkon yksivaiheiset oikosulkuvirrat. Oikosulkuvirtojen määrittämisellä saadaan varmistettua sulakesuojauksen ehtojen täyttyminen. (Elovaara & Haarla 2011a, 159.)

Pienjänniteverkon suojaustavaksi on vakiintunut sulakesuojaus, kun sulakkeet on sijoitettu ainakin jakelumuuntamolle kunkin lähdön kaikkiin vaihejohtimiin. Sulaketta mitoittaessa on varmistuttava, että se kestää kuormitusvirran, mutta toimii riittävän nopeasti myös verkon loppupään yksivaiheisessa oikosulussa. Johtolähtöjen sulakkeiden tulee riippukierrejohtoja käytettäessä suojata runkojohdot myös ylikuormitukselta. Mikäli ehdot eivät täyty, verkkoa joudutaan vahvistamaan tai asettamaan johdolle välisulakkeita. (Elovaara & Haarla 2011a, 158.)

Jakelumuuntajaa valittaessa sen koko voidaan valita yleensä kuormituskestoisuuden mukaan. Muuntajan hinta ja muuntajassa syntyvien häviöiden aiheuttamien kustannusten suhteet ovat sellaiset, että pienjänniteverkolle tyypillisillä huipun käyttöajoilla pienjänniteverkon muuntaja on suurempaa muuntajakokoa taloudellisempi vielä puolitoistakertaisen mitoitustehon kuormituksella. Yli mitoitustehon kasvava kuormitus aiheuttaa muuntajassa normaalia suurempaa lämpenemistä ja näin nopeuttaa muuntajan vanhenemista. Suomessa kuitenkin lämpeneminen ei niinkään ole ongelma, sillä suurin kuormitus on yleensä talviaikaan ja muuntaja saa näin hyvin jäähdytystä. Muuntajalle voidaan kansainvälisten standardien mukaan sallia korkeintaan 30 % ylikuormaa mitoitustehosta, kun ympäristön lämpötila on +20 °C. (Elovaara & Haarla 2011a, 158.)

6.3.3 Keskijänniteverkon oikosulku- ja maasulkusuojaus

Sähköverkon suunnitteluun kuuluu olennaisesti myös verkon vikatapausten laskeminen. Tyypillisimmät viat sähköverkossa ovat oiko- ja maasulut, mutta toisinaan sähköverkossa esiintyy myös katkoksia. Oikosulut ovat vaiheiden välisiä vikoja ilman maakosketusta ja maasuluissa vikavirtapiiriin kuuluu aina myös maa (Kuvio 8). Vian aiheuttajina voivat olla esimerkiksi ylijännitteet, jotka johtuvat salamaniskuista tai verkon sisäisistä syistä, laitteiden häiriöt ja jonkin verkon komponentin eristyskyvyn aleneminen. (Elovaara & Haarla 2011a, 166.)



Kuvio 8 Havainnollistava kuva oikosulun ja maasulun erosta. A = oikosulku, B = maasulku.

Oikosulkusuojaus tarkoitusena on ehkäistä vaarallisen kosketusjännitteen muodostuminen sekä estää johtimen liiallinen lämpeneminen katkaisemalla virta vialliselta johtolähdeltä. Oikosulkusuojaus perustuukin virran mittaamiseen, eli releen sille asetetun asetteluarvon ylittyessä rele havahtuu ja sähkön jakelu keskeytyy. Kolmivaiheinen oikosulkuvirta voidaan laskea kaavan 1 mukaisesti.

$$I_k = \frac{U_k}{\sqrt{3} \cdot Z_k} \quad (1)$$

missä I_k = kolmivaiheinen oikosulkuvirta
 U_k = laskentajännite
 Z_k = virtapiirin impedanssi

Varmennetuilla johdoilla kolmivaiheinen oikosulkuvirta on olennainen mitoittava tekijä johtimen oikosulkukestoisuudelle. Varmennetuilla johdoilla releen on havahduttava myös johtolähdön lopussa tapahtuvassa kaksivaiheisessa oikosulussa. Kaksivaiheinen oikosulkuvirta saadaan kertomalla yhtälöstä 1 saatava kolmivaiheinen oikosulkuvirta lähdön lopussa termillä $\sqrt{3}/2$. Releen havahtumisen asetteluarvoksi kelpaa arvo, joka on suurempi kuin maksimi kuormitusvirta, mutta alle pienimmän kaksivaiheisen oikosulkuvirran. (Simonen 2006, 19-20.)

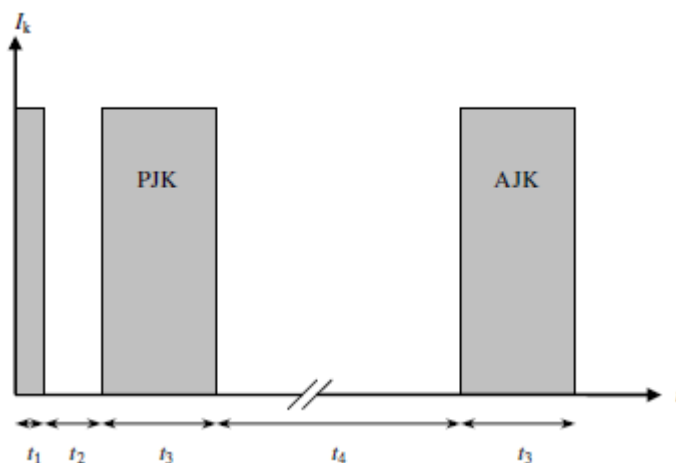
Johtojen valmistajat ilmoittavat johtimille suurimman sallitun yhden sekunnin oikosulkuvirran I_{kls} arvon. Nykyaikaisilla releillä ja katkaisijoilla on kyky katkaista

vikavirta jopa 100 millisekunnissa. Tällöin releelle voidaan asettaa aikahidastuvuus, jolla varmistetaan aikaselektiivisyys. Käytettävästä reletyypistä riippuen selektiivisyys täyttyy 0,3 - 0,5 sekunnin aikahidastuksella peräkkäisten releiden välillä. Mikäli aikahidastusta asetetaan liikaa, johdin voi lämmetä yli sallitun arvon ja näin estää suojan toimimisen oikein. Oikosulkuvirran vian keston ollessa enimmillään erisuuri kuin 1 sekunti voidaan oikosulkuvirta laskea yhtälöllä

$$I_{kt} = \frac{I_{kls}}{\sqrt{t}} \quad (2)$$

missä I_{kt} = sallittu oikosulkuvirta
 I_{kls} = yhden sekunnin oikosulkuvirta
 t = oikosulkuvirran kesto aika sekunteina

Lisäksi nykyaikaisilla releillä voidaan toteuttaa pika- ja aikajälleenkytkentöjä. Niiden avulla voidaan poistaa itsestään sammuvat ja ohimenevät viat. Tosin jälleenkytkentöjä käytetään kuitenkin vain ilmajohtoverkoissa. Kaapeliverkon pitkien jäähtymisaikavakioiden vuoksi johtimet kuumenevat liikaa ja estävät jälleenkytkentöjen käytön. Kaapeliverkkojen viat eivät myöskään poistu yleensä itsestään. Kuviossa 9 on esitetty pika- ja aikajälleenkytkennän kytkentäsekvenssi. Y-akselilla on kuvattuna oikosulkuvirran suuruus ja x-akselilla aika, jossa t_1 on releen kytkentäaika, t_2 on pikajälleenkytkennän jännitteetön aika, t_3 on aikahidastus ja t_4 on aikajälleenkytkennän jännitteetön aika. (Simonen 2006, 19)



Kuvio 9 pika- ja aikajälleenkytkennän kytkentäsekvenssi. (Simonen 2006, 20.)

Kun käytetään kuvion 9 mukaista releen kytkentäsekvenssiä, johdinta lämmittävä oikosulun kesto aika voidaan laskea yhtälöstä 3.

$$t_{ekv} = (t_1 + t_3) \cdot e^{-\frac{t_4}{\tau}} + t_3 \quad (3)$$

missä t_{ekv} = oikosulun ekvivalenttinen vaikutusaika
 τ = jäähtymisaikavakio

Toisin kuin oikosulussa, maasulussa vikavirran suuruudesta ei voida laskea vikapaikan etäisyyttä sähköasemalta. Lisäksi vikavirrat ovat vain muutamia ampeereita ja niitä kulkeutuu vikapaikkaan kaikilta sähköaseman lähdoilta. Tämän vuoksi vian paikannus ei onnistu virran suuruuden perusteella. (Simonen 2006, 20.)

Maasulkuvirta voidaan laskea sähköaseman yhteenlasketulla maakapasitanssilla, sekä mahdollisella vikaresistanssin suuruudella. Maakapasitanssin suuruuteen vaikuttaa verkoston pituus ja kaapelointiaste. Tämä sen vuoksi, että maakaapeleilla kapasitanssi on moninkertainen verrattuna ilmajohtoihin. Maasta erotetun verkon maasulkuvirta voidaan laskea yhtälöllä 4.

$$I_f = \frac{j3\omega C_0}{1 + j3\omega C_0 R_f} U_v \quad (4)$$

missä I_f = maasulkuvirta
 C_0 = maakapasitanssi vaihetta kohden
 R_f = vikaresistanssi
 U_v = vaihejännite
 ω = kulmataajuus

Maasulkuja havaitsevat releet mittaavat virran lisäksi tähtipistejännitettä. Sammutetussa verkossa se saadaan yhtälöllä 5.

$$U_0 = \frac{-U_v}{1 + j3\omega C_0 R_f} \quad (5)$$

Maasulkuvirtojen havaitsemiseen käytetään vaihekulmasuuntarelettä, minkä vuoksi edellä mainitut yhtälöt ovat kompleksimuodossa. Vaihekulmasuuntarele mittaa myös nollajännitteen ja summavirtamuuntajan läpi kulkevan virran vaiheeroa. (Simonen 2006, 21.)

Yleensä sammutetun verkon maasulkuvirta on niin pieni, ettei jälleenkytkentöjä tarvita valokaaren sammuttamiseen. Tämän vuoksi sammutetulla verkolla PJK- ja AJK-määriä voidaan vähentää. Sammutetun verkon maasulkuvirta voidaan laskea yhtälöllä 6. (Simonen 2006, 21-22.)

$$I_f = \frac{U_v}{R + \frac{R}{1 + jR \cdot \left(3\omega C_0 - \frac{1}{\omega L}\right)}} \quad (6)$$

missä R_f = vikavirtaresistanssi
 R = sammutuskuristimen resistanssi
 L = sammutuskuristimen induktanssi

Tähtipistejännite voidaan puolestaan laskea yhtälöllä 7.

$$U_0 = \frac{-R}{R_f + R + jR \cdot R_f \cdot \left(3\omega C_0 - \frac{1}{\omega L}\right)} \cdot U_v \quad (7)$$

6.3.4 Pienjänniteverkon ylivirta- ja oikosulkusuojaus

Ylikuormitussuojauksella estetään johtimien terminen tuhoutuminen ja palovaaran aiheutuminen, eli sillä pyritään estämään johtimien liiallinen kuumentuminen. Maakaapeleille, avojohdoille ja itsestään sammuville johtimille ei kuitenkaan vaadita ylikuormitussuojausta, koska ne ovat yleensä asennettu palon kestävästi. AMKA-johdot kuitenkin tulee suojata ylikuormitukselta ja jotkin liittymiskaapelit voivat vaatia ylikuormitussuojausta palovaaran ehkäisemiseksi. Ylikuormitussuojaus voidaan toteuttaa myös johdon loppupäässä sijaitsevilla sulakkeilla. Pienjännitekaapeleiden suojaaminen voidaan toteuttaa taulukon 1 mukaan. Tällöin kaapeleiden kuormitettavuus saadaan tarkoin hyödynnetyksi ilman vaurioitumisriskiä. (Simonen 2006, 66)

Taulukko 1 Pienjännitekaapeleiden suurimmat ylivirtasuojan nimellisvirrat gG-sulakkeita käytettäessä. (Simonen 2006, 67.)

Kaapeli	Liittymisjohdot		Runkojohdot
	Kuluttajan pääsulake [A]	Liittymisjohdon oikosulkusulake [A]	Sulake [A]
AXMK 4x25	80	160	100
AXMK 4x35	100	250	125
AXMK 4x50	125	315	125
AXMK 4x70	125	400	160
AXMK 4x95	160	500	200
AXMK 4x120	200	630	250
AXMK 4x150	200	630	250
AXMK 4x185	250	800	315
AXMK 4x240	315	1000	400
AMCMK 3x25/16	80	160	100
AMCMK 3x35/16	80	200	125

AMKA-johtoihin yllä oleva taulukko ei päde, sillä niiden kohdalla kuormitushuipun ajankohta vaikuttaa huomattavasti ylikuormitussuojaukseen. Kesäkuukausina lämpötila voi nousta jopa 40 °C asteeseen. Tämän vuoksi AMKA-johdoille on omat standardinsa, jotka on esitetty taulukossa 2. (Simonen 2006, 67.)

Taulukko 2 AMKA-johtojen ylikuormitussuojana toimivan gG-sulakkeen enimmäiskoko eri lämpötiloissa. (Simonen 2006, 67.)

AMKA	Nimellisvirta I_N [A]		
	Ympäristön lämpötila [°C]		
	20	25	40
3x16+25	63	50	50
3x25+35	80	63	63
3x35+50	100	80	80
3x50+70	125	100	100
3x70+95	160	125	125
3x120+95	200	200	160

Pienjänniteverkon oikosulkusuojauksen ehtona syötön nopean poiskytkennän on tapahduttava määrättyssä ajassa, pienimmän yksivaiheisen oikosulkuvirran vaikutuksesta. Oikosulku on kytkettävä pois enintään viidessä sekunnissa. Jakeluverkoissa voidaan käyttää myös pidempiä poiskytkentäaikoja verkon haltijan harkinnan mukaan. Poiskytkennän enimmäistoiminta-aika saa kuitenkin olla enintään 15 sekuntia. Sulakkeen nimellisvirta ei saa olla liian suuri, mutta vikavirran on oltava kuitenkin niin suuri, että sulake palaa riittävän nopeasti. Yksivaiheinen oikosulkuvirta voidaan laskea kaavan 8 mukaisesti. (Simonen 2006, 68.)

$$I_{kv} = \frac{3 \cdot U_v}{\sqrt{(2R_m + R_{m0} + 3l(r_j + r_0))^2 + (2X_m + X_{m0} + l(2x_j + x_{j0} + 3x_0))^2}} \quad (8)$$

missä U_v = vaihejännite
 R_m = muuntajan oikosulkuresistanssi
 X_m = muuntajan oikosulkureaktanssi
 R_{m0} = muuntajan nolaresistanssi
 X_{m0} = muuntajan nolareaktanssi
 l = johdon pituus
 r_j = vaihejohtimen resistanssi
 x_j = vaihejohtimen reaktanssi

x_{j0} = vaihejohtimen nolhareaktanssi

r_0 = nolajohtimen resistanssi

x_0 = nolajohtimen reaktanssi

6.3.5 Jännitteenalenema

Jännitteenalenema on keskeisessä roolissa sähköverkkoa mitoitettaessa. Sillä tarkoitetaan johdon tai kaapelin alku- ja loppupään jännitteiden välistä erotusta. Jännitteenalenema syntyy kuormitusvirran kulkiessa johtimessa aiheuttaen sen impedanssissa jännitteenaleneman. Jännitteenaleneman suuruuteen vaikuttavat merkittävästi kuormituksen suuruus, johtimen pituus ja impedanssi. Etenkin pienjännitettä käytettäessä tehon kasvu on nopeaa ja tällöin myös kuormitusvirta kasvaa nopeammin. Tästä syystä pienilläkin johdinetäisyyksillä jännitteenalenema voi olla merkittävä. Taulukossa 3 on esitetty suositellut jännitealueet ja -alenemat. (Kivilä 2015,10)

Taulukko 3 Suositellut jännitevaihtelualueet ja jännitteenalenemat. (Anjala 2008.)

Osaverkko	Jännitteen vaihtelualue		Jännitteenalenema		
	Minimi	Maksimi	Korkea laatu	Normaali laatu	Standardi laatu
Keskijänniteverkko	19 kV	22 kV	$\pm 4 \%$	$\pm 10 \%$	$95 \% \pm 10 \%$
Pienjännitejakelu	196 V	253 V	$\pm 4 \%$	$\pm 10 \%$	+10 -15 %
Muuntamo ¹⁾	220V	253V		1-2 %	2-4 %
Pienjänniterunkoverkko	210V	253V		3-5 %	3-7 %
Liittymisjohto ²⁾	207V	253V		1-3 %	1-5 %
Sisäjohtoverkko	198V	253V			1-4 %

¹⁾ Jännitetasoa voidaan säätää, jos käytettävissä on väliottokytkin.

²⁾ Liittymisjohto kuluttajan liittämiskohtaan saakka

Jännitteenalenemalle on määritelty SFS käsikirja 6000-5-52 liitteessä 52G las-kentakaava, joka on yhtälön 9 mukainen.

$$u = b(\rho_1 \frac{L}{S} \cos \varphi + \lambda L \sin \varphi) I_s \quad (9)$$

missä u = jännitteenalenema (V)
 b = kerroin, joka on 1 kolmivaiheisille ja 2 yksivaiheisille piireille
 ρ_1 = johdinmateriaalin resistiivisyys normaalikäytössä. Kuparille 0,0225 $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$ ja alumiinille 0,036 $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$
 L = johtimen pituus (m)
 S = johtimen poikki-pinta-ala (mm^2)
 λ = johtimen reaktanssi johtimen pituusyksikköä kohden. Jos ei ole tiedossa tarkkaa arvoa, voidaan käyttää 0,08m Ω/m
 I_s = suunniteltu virta (A)

Jännitteenalenema prosentteina voidaan laskea kaavan 10 mukaisesti, (Höltta 2014, 11)

$$\Delta u = 100\% \frac{u}{U_0} \quad (10)$$

missä U_0 = vaiheen ja nollan välinen jännite (V)

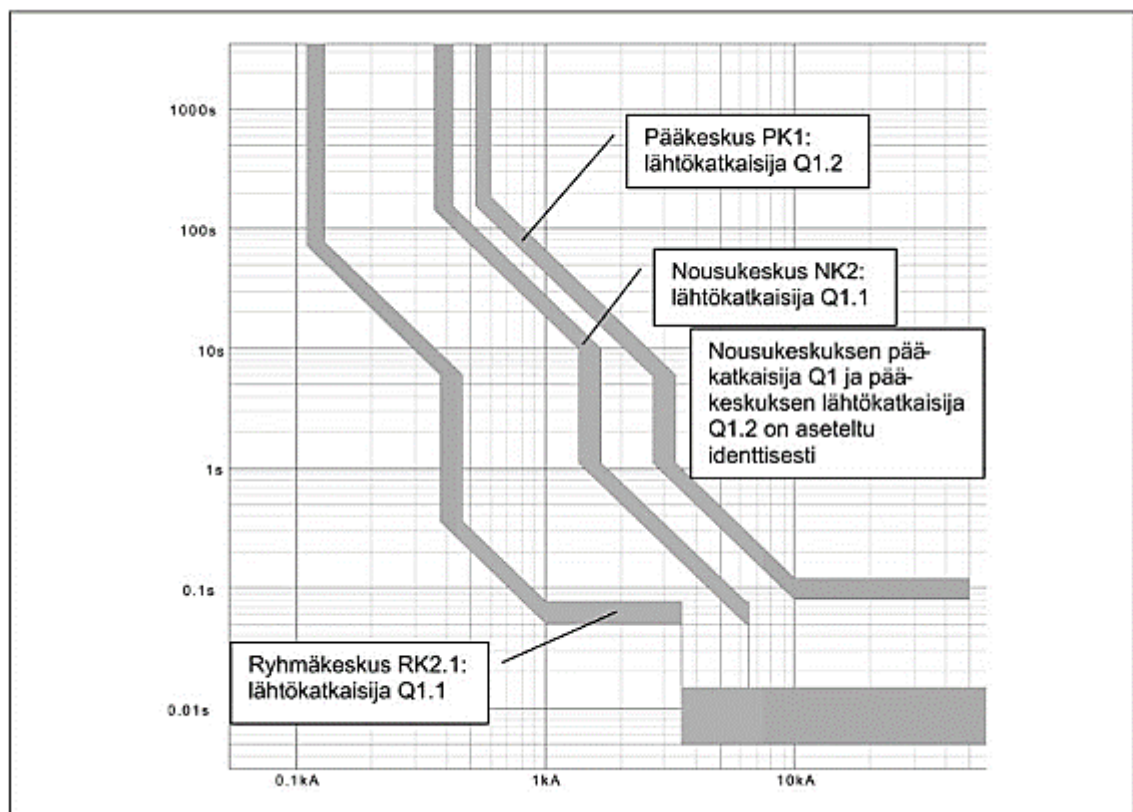
6.3.6 Selektiivisyys

Sähköverkon selektiivisyyden tarkoituksena on erottaa sähköverkosta vain se osa, johon vika kohdistuu. Näin mahdollisimman pieni osa sähköverkosta erotetaan jännitteettömäksi. Selektiivisyydellä tarkoitetaan sitä, että sähköverkossa tapahtuvan ylikuormituksen tai oikosulun katkaisee lähinnä vikapaikkaa oleva suoja. (Rutanen 2015, 8.)

Selektiivisyys toteutuu jos jälkimäisen suojalaitteen ominaiskäyrä on edellisen suojalaitteen ominaiskäyrän alapuolella. Ominaiskäyrät eivät saa leikata toisiaan millään odotettavissa olevan ylivirran arvolla. Suojalaitteiden selektiivisyyttä voidaan tarkastella niiden toiminta-aikakäyrien ja valmiiden taulukoiden avulla. Selektiivisyyttä voidaan tutkia myös useilla sähköverkon suunnitteluohjelmilla. (Rutanen 2015, 8.)

Yleensä sulakkeita käyttämällä päästään hyvään selektiivisyyteen. Ehtona on että sulakekoot on valittu oikein, eikä käytetä liian suuria sulakekokoja. Peräkkäisten sulakkeiden välissä tulee olla vähintään yksi sulakekoko ja sulakkeiden suhteen pitää olla vähintään 1,6. (Rutanen 2015, 9.)

Kuviossa 10 on esitetty selektiivisyyden toteutuminen. Suojalaitteiden ominaiskäyrät eivät leikkaa toisiaan missään tilanteessa. Mikäli ominaiskäyrät leikkaisivat toisiaan, voi pahimmassa tapauksessa koko sähköverkkoon aiheutua katkos, kun pääkatkaisija laukeaa. Lisäksi voi aiheutua henkilö- tai omaisuusvahinkoja, jos suoja ei toimi vikatilanteessa lainkaan. (Rutanen 2015, 9.)



Kuvio 10 Esimerkki toteutuvasta selektiivisyydestä sähköverkossa. (ST 53.13.)

6.3.7 Vaatimukset johdon mitoituksessa

Johtimen poikkipinnan määräävät yleensä taloudelliset näkökohdat. Taloudellisten näkökohtien lisäksi on tarkastettava, että jännitteenalenema pysyy kohtuullisena. Lisäksi on tarkastettava, että johtimille ja liittimille asetetut virtakestoisuusvaatimukset, sekä ilmaväleille ja eristimille asetetut jännitevaatimukset toteutuvat. Virtakuormitettavuutta tarkasteltaessa on huomioitava kuormitusvirran lisäksi oikosulku- ja maasulkuvirrat kestoaikoiheen, pikajälleenkytkentä ja aikajälleenkytkentä mukaan lukien. (Elovaara & Haarla 2011b, 259.)

Johtimille on annettava sallittujen johdinlämpötilojen enimmäisarvot, sillä johtimen liiallinen lämpeneminen voi kasvattaa riippumat liian suuriksi. Tällöin johto voi katketa tai johdon mekaaninen lujuus voi heiketä pysyvästi. Johdin ei myöskään saa lämmitä liikaa huippukuormitusvirran ja oikosulkuvirran vaikutuksesta. Myös oikosulkuvirtojen aiheuttamat voimat ja johdinten heilahteluissa aiheutuvat voimat on syytä tarkastaa, joskaan niiden vaikutukset eivät normaalisti ole johdoilla kovinkaan suuria. Heilahtelut voivat kuitenkin aiheuttaa ongelmia pikajälleenkytkennälle, johtimien ollessa liian lähellä toisiaan. (Elovaara & Haarla 2011b, 260.)

6.3.8 Vaatimukset kaapelin mitoituksessa

Kuten avojohdoilla, myös kaapeleilla poikkipinnan valintaan vaikuttavat useat tekijät. Pääpaino on kuitenkin taloudellisuudessa ja kuormitettavuudessa. Näiden lisäksi huomiota on kiinnitettävä asennuspaikan asettamiin mekaanisiin vaatimuksiin sekä korroosiokestävyyteen. (Elovaara & Haarla, 2011b, 316.)

Kaapeleiden kuormitettavuus on varsin monimutkainen asia. Kuormitettavuuteen vaikuttavat muun muassa kaapelin rakenne, ympäristön lämpötila, lähellä olevien muiden kaapeleiden ja lämpöjohtojen lämmittävä vaikutus, maan lämpöresistiivisyys kun kaapeli asennetaan maahan, asennustapa ja asennussyvyys. Erityiset kuormitustaulukot ilmoittavat, kuinka suurella virralla kaapelia saa yhtäjaksoisesti

kuormittaa ilman että se lämpenee liikaa. Kuormitustaulukoita on saatavissa muun muassa kaapelien valmistajilta. (Elovaara & Haarla, 2011b, 316.)

Kaapelin kuormitettavuuden laskennassa määritetään millaiseen lämpötilaan jokin annettu virta kaapelin lämmittää, tai kääntäen millainen virta kaapelin läpi voidaan ajaa, jotta lämpötila säilyisi ennalta annetun rajalämpötilan alapuolella. Tällöin on pystyttävä arvioimaan, paljonko kaapelissa syntyy lämpöä ja miten kaapelia ympäröivä materiaali pystyy vastaanottamaan siihen virtaavan lämpömäärän. Syntyvän lämmönkehityksen arviointi on suhteellisen yksinkertaista, koska kaapelille voidaan tehdä tätä ominaisuutta koskevia mittauksia. Ympäristön kyky ottaa vastaan lämpöä on vaikeampi mittauskohde, koska vaikuttavia tekijöitä on niin monia. Ympäristöön vaikuttaa sen laatu, kosteus ja lämpötila sekä ilmajäähdytteisillä kaapeleilla tuuliolot. (Elovaara & Haarla, 2011b, 316.)

6.4 Maastosuunnittelu

Maastosuunnittelu aloitetaan yleensä, kun sähköinen suunnitelma on saatu valmiiksi. Maastosuunnittelu voidaan aloittaa myös sähköisen suunnittelun loppuvaiheessa. Tällöin sähköiseen suunnitelmaan voidaan vielä tehdä muutoksia kaapelien kulkureittien osalta, ennen suunnitelman lähettämistä verkkoyhtiölle.

Maastosuunnittelussa selvitetään tarkemmin maakaapeleiden ja pylväiden sijoituspaikat. Ne pyritään aina sijoittamaan niin, että niistä aiheutuu maanomistajille mahdollisimman vähän haittaa. Yleisimmät sijoituspaikat ovat peltojen reunat, tien reunat, sekä tilojen rajat.

Maastosuunnittelu aloitetaan tutustumalla sähköisessä suunnittelussa suunniteltuihin sähköverkon reitteihin. Koko projektialueen sähköverkon reitit käydään läpi ja selvitetään mahdolliset ongelmakohdat, joita sähköisessä suunnittelussa ei ole huomattu. Tällaisia ongelmakohtia voivat olla esimerkiksi kivikkoinen tai kallioinen maasto, sekä hankalat maaston pinnan muodot. Ongelmakohdat merkataan kuviin ja sähköverkon kulkureitti muutetaan niin, että sähköverkon rakentaminen

onnistuu kustannustehokkaasti. Muita esteitä, joita maastosuunnittelussa voidaan havaita, ovat esimerkiksi kaukolämpöputket, vesijohdot ja viemäriverkosto. Näistä esteistä maastosuunnittelija voi pyytää kartoituksen kyseisten verkkojen omistajilta, jossa selviää kunkin verkon kulkureitit.

Kun sähköverkon kulkureitit on saatu muutettua, selvitetään maanomistajien tiedot. Maanomistajille täytyy lähettää maankäyttösopimukset, joissa pyydetään lupa sähköverkon rakentamisesta heidän mailleen. Maanomistajien kanssa käydään sähköverkon kulkureitti läpi ja mikäli maanomistajalla on jotain toiveita sähköverkon paikasta, voidaan reittejä vielä muuttaa.

Mikäli maakaapeliteitti on suunniteltu kulkemaan maantien alta, on siihen haettava sijoituslupaa elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskukselta. ELY:ltä joudutaan hakemaan lupaa myös silloin, jos esimerkiksi muuntamoita joudutaan sijoittamaan teiden suoja-alueelle tai maakaapeli on suunniteltu kulkeväksi luonnonsuojelu- tai natura-alueella. Näiden lupien käsittelyajat voivat olla hyvinkin pitkiä, joten on tärkeää, että lupia haetaan mahdollisimman aikaisessa vaiheessa. Usein hakemuksen lisäksi joudutaan toimittamaan monia eri liitteitä ja selvityksiä. Tämän vuoksi on hyvä järjestää myös ELY-keskuksen edustajan kanssa katselmus sähköverkon suunnittelusta paikasta tie-, luonnonsuojelu-, tai natura-alueella. Näin voidaan heti todeta paras mahdollinen reitti sähköverkolle ja samalla nopeutetaan luvan saamista hankkeelle. (Hakamäki 2015, 45)

Jos sähköverkko on suunniteltu kulkevan vesistöjen ali tai vesistön pohjaa pitkin, on mahdollista, että niitä varten on haettava erillinen lupa aluehallintovirastolta. Luvanvaraisuus koskee yleisesti suurimpia vesialueita ja väyliä, mutta luvanvaraisuus kannattaa aina selvittää erikseen paikalliselta ELY-keskukselta. (Hakamäki 2015, 46.)

Myös kunnilta voidaan joutua hakemaan toimenpidelupaa. Vaatimukset luville vaihtelevat kunnittain, joten on suositeltavaa selvittää hyvissä ajoin, mitä lupia kyseinen kunta vaatii. Tyypillisesti kunnat vaativat toimenpideluvan hakemista muuntamoiden osalta, mutta joidenkin kuntien osalta vaatimukset voivat olla myös tiukemmat. (Hakamäki 2015, 46.)

Kun sähköverkon kulkureitistä on päästy kaikkien osapuolten kanssa yhteisymmärrykseen, piirretään lopulliset työkartat ja tämän jälkeen kaapelireitti voidaan käydä merkitsemässä. Kaapelireitin merkintä suoritetaan puisilla merkkikepeillä, joihin merkataan urakoitsijaa helpottavia tietoja. Yleensä kepeihin merkitään kaapelityyppi, mutta myös muita tietoja voidaan kepeihin merkata. Tällaisia tietoja ovat mm. puistomuuntamon keski- ja pienjännitepuolen nousut, harusten paikat, pylvästiedot yms.

Maastosuunnittelun aikana voidaan olla yhteydessä myös alueen muihin toimijoihin, kuten mobiiliverkon rakentajiin, vesilaitoksiin ja kaukolämpölaitoksiin mahdollisen yhteiskaivuun toteuttamiseksi. Tämän tarkoituksena on, että samalla kaivuutyöllä voidaan rakentaa sähköverkkoa ja esimerkiksi tiedonsiirtoverkkoa. (Hakamäki 2015, 46)

Kaapelireittejä suunniteltaessa on myös huomioitava, että mikäli kaapelireittejä muutetaan paljon sähköisessä suunnittelussa suunniteltuihin alkuperäisiin kaapelireitteihin, lasketut sähköiset arvot eivät välttämättä enää täyty. Tällöin on mietittävä muuta ratkaisua arvojen täyttämiseksi tai muutettava sähköisessä suunnittelussa suunniteltuja komponentteja ja kaapeleita niin että ehdot täyttyvät.

Maastosuunnittelussa laaditaan myös rakenne- ja tarvikelista. Mikäli uuden verkon tieltä joudutaan purkamaan vanhaa verkkoa, niin siitä tehdään purkusuunnitelma.

6.5 Maanrakennus ja sähkötyöt

Kun maastosuunnitelma on valmis ja sähköverkon suunniteltu reitti merkitty maastoon, voidaan projekti luovuttaa projektin toteuttavalle urakoitsijalle. Urakoitsija toteuttaa projektin suunnittelijan tekemien piirustusten mukaisesti. Urakoitsijan on tiedettävä maakaapelointia tehdessä mm. kaapeleiden asennussyvyyydet, tunnettava kaapelit ja osattava lukea suunnittelijan tekemiä piirroksia. Avojohtoja rakennettaessa urakoitsijan pitää tietää mm. pylväiden välit, asennussyvyyydet ja harusten asennustavat.

Mikäli sähköverkon rakentamisen hoitaa usea eri urakoitsija, on tyypillistä että maanrakennus ja sähkötyöt jaetaan eri urakoitsijoiden kesken. Joissain tapauksissa verkkoyhtiö hoitaa myös itse sähkötöiden tekemisen. Mikäli sama urakoitsija hoitaa maanrakentamisen ja sähkötyöt, on yrityksellä oltava sähkötöihin vaadittavat pätevyydet. Pätevyyksiä ei vaadita, jos urakoitsija tekee vain maanrakentamiseen liittyviä töitä, kuten maakaapelin kaivuuta tai kaapelin vetoa.

Maanrakennuksen osalta urakoitsijan on pyrittävä toimimaan niin, että maanomistajalle koituu mahdollisimman pieni haitta maanrakentamisesta. Urakoitsija on yhteydessä maanomistajiin aina ennen maanrakentamisen aloittamista. Mikäli maanrakennuksen aikana tulee ongelmia tai suunnitelluista reiteistä joudutaan poikkeamaan, tulee urakoitsijan ilmoittaa tästä verkon suunnittelijalle.

Pääurakoitsijan sekä mahdollisten aliurakoitsijoiden on tiedettävä myös turvallisuuteen liittyvät asiat, kuten mitä tulee huomioida valtatievarrella rakennettaessa ja mitä henkilösuojausasioita asentajilta vaaditaan eri rakennuskohteissa työskennellessä. Nämä vaatimukset on määritelty sähköturvallisuuslaissa. Sähköturvallisuuslain lisäksi verkkoyhtiöillä on yleensä omat vaatimuksensa sähköturvallisuudesta. Eri verkkoyhtiöiden turvallisuusvaatimuksissa on myös eroja, joten urakoitsijan on aina selvitettävä tarkasti, mitä kyseinen verkkoyhtiö maanrakentamiselta vaatii. Mikäli turvallisuusmääräyksiä rikotaan, verkkoyhtiö voi sakottaa urakoitsijaa riippuen siitä, kuinka suuresta rikkeestä on kyse. Jos rike on pieni, voi verkkoyhtiö antaa urakoitsijalle varoituksen. Toistuvissa rikkeissä ja useamman varoituksen jälkeen myös pienistä rikkeistä voidaan sakottaa. Mikäli rikkeet kohdistuvat aina samaan asentajaan tai asentaja tekee vakavan sääntörikkomuksen, voidaan tämä henkilö poistaa työmaalta, joko määrääjäksi tai kokonaan.

6.6 Dokumentointi

Kun projekti on saatu rakentamisen osalta valmiiksi, toimittaa urakoitsija suunnitelmat takaisin verkon suunnittelijalle. Urakoitsija on merkinnyt suunnitelmiin käsin suunnitelmasta poikkeavat reitit, pylväiden poikkeavat mitat ja rakenteet, todelliset johtojen mitat sekä rakennettujen kohteiden käyttöönottopäivämäärät. Suunnittelija päivittää urakoitsijan merkkamat muutokset suunnitelmiin ja tallettaa ne työnohjausjärjestelmään.

6.6.1 Sähköturvallisuusstandardin vaatimukset dokumentoinnista

Sähköturvallisuusstandardissa on omat vaatimukset jakeluverkon dokumentointiin liittyen. Jakeluverkosta täytyy tehdä verkkokartta tarvittavine liitteineen, joista selviävät käytön ja huollon kannalta oleelliset tiedot. Sähköturvallisuusstandardin mukaan jakeluverkon verkkokartassa on oltava ainakin seuraavat tiedot:

- *syöttävän muuntajan tai generaattorin mitoitusarvot, sisäinen kytkentä ja oikosulkuimpedanssi (mukaan lukien liittyjien omistamat, jakeluverkon kanssa rinnan käyvät generaattorit ks. kohta 551.7)*
- *verkon eri osien johtojen pituus, johtimien poikkipinta ja laji mukaan luettuna liittymisjohdot niiden haltijasta riippumatta*
- *laskettu tai mittaamalla määritetty yksivaiheinen oikosulkuvirta liittymiskohdissa ja välivarokkeiden luona verkon normaalissa käyttötilanteessa. Tarvittaessa määritellään myös laitteiston mitoituksessa käytettävä suurin kolmivaiheinen oikosulkuvirta*
- *verkon eri osia suojaavien sulakkeiden (liittymän pääsulakkeet mukaan luettuna) tai muiden ylivirtasuojien ja suojalaitteiden laatu sekä käytössä oleva mitoitusvirta tai asetteluvirta*
- *PEN- tai suojajohtimien maadoituspaikat. (SFS 6000-8-801, 547.)*

Näiden edellä mainittujen tietojen lisäksi verkkokartasta tai muusta tiedostosta tulee selvittää syöttävän muuntamon suurjännite- ja pienjännitepuolen maadoi-

tusimpedanssi tai yhdistetyn maadoituksen maadoitusimpedanssi. Mikäli maadoitus on yhdistetty useamman muuntamon käsittävään laajaan maadoitusjärjestelmään, täytyy siitä olla maininta. (SFS 6000-8-801. 547.)

Yleisesti standardissa suositellaan verkkokartassa esitettävän sellaiset tiedot, joita tarvitaan verkon normaaleissa kunnossapito- ja korjaustoiminnassa. Tällaisia tietoja ovat verkon rakenteen lisäksi mm. suojalaitteiden kytkennät ja koot, maadoituspaikkojen sijainnit sekä johtimien lajit ja poikkipinnat. (SFS 6000-8-801, 547.)

6.6.2 HeadPower-projektiraportointiportaali

HeadPower Oy tarjoaa sisältö- ja sovelluspohjaisia palvelukokonaisuuksia energia- ja telesektorille. Sähkönjakelualalle Headpower Oy tarjoaa ratkaisuja suunnitteluun, rakennuttamiseen, resurssien ja töiden ohjaukseen, laatu järjestelmiin ja verkon elinkaaren hallintaan. Palvelun käyttäjä voi koota tuotteista omiin tarpeisiinsa parhaimman palvelukokonaisuuden. Vakiorakenteet, määräluettelo, materiaalisuositus ja tarvikesarja mahdollistavat tehokkaan verkon suunnittelun, rakentamistyön tilaamisen ja oikeiden tarvikkeiden tilaamisen tarvikeliikkeestä. (HeadPower Oy 2016.)

HeadPower tarjoaa myös Työnohjaus -palvelun, jonne voidaan kirjata kaikki verkoston rakentamiseen ja hallintaan liittyvät projektit tietoineen. Toimittajat voivat raportoida järjestelmän kautta töiden etenemistä ja työn valmistuttua asiatarkastuttaa työhön liittyvät laskutusehdotukset. Palvelun reaaliaikaisuus helpottaa projektin aikaista dokumentointia sekä rakennuttajan, suunnittelijan ja urakoitsijan välistä kommunikointia. Palvelun laajemmalla versiolla verkkoyhtiön on myös mahdollista kilpailuttaa hankkeita ja vuosisopimustöitä. Vastaavasti urakoitsijalla on mahdollisuus tehdä tarjouksia projekteista. (HeadPower Oy 2016.)

Maastosuunnittelun loppuvaiheessa suunnittelusta verkosta tehdään materiaaliluettelo. Materiaaliluettelo voidaan tehdä HeadPowerin avulla. Materiaaliluettelossa määritetään urakassa tarvittavat komponentit niiden tilaamista varten.

HeadPowerilla materiaaliluettelot voidaan esittää myös työpisteluettelona. Niistä maanrakentaja ja sähköurakoitsija voivat katsoa eri työpisteissä tarvittavat komponentit. Tämä nopeuttaa urakoitsijoiden toimintaa, sillä varastolta saadaan otettua juuri oikeat komponentit helposti työmaan eri työpisteiden toteuttamista varten.

7 POHDINTA

Jotta sähköverkkoa voi suunnitella, on ymmärrettävä sähköverkon nykyinen rakenne. Nykyiseen rakenteeseen taas on vaikuttanut suuresti sen historia. Yleisellä tasolla voidaan siis sanoa, että mikäli sähköverkkoa haluaa suunnitella kattavasti, on ymmärrettävä ensin sähköverkon rakenteen muutos ja kehitys vuosien saatossa. Toiseksi, on tiedettävä sähköverkon rakentamiseen liittyvät perustiedot. Opinnäytetyön tavoitteena oli siis saada koottua tiiviisti yhteen nämä yllämainitut asiat sekä perehtyä tarkemmin keski- ja pienjänniteverkon suunnittelussa huomioitaviin seikkoihin.

Oman haasteensa opinnäytetyöhön toi perehdytysoppaan toteuttaminen Despro Engineering Oy:lle. Perehdytysoppaasta täytyi saada sellainen, että yritykseen tuleva uusi suunnittelija saisi kattavat perustiedot yrityksen toimintatavoista sekä suunnitteluohjelmien käytöstä. Perehdytysoppaan toteuttamisen suurin syy oli se, että aiempi työntekijöiden perehdytys ei ollut riittävän selkeä.

Vaikeinta perehdytysoppaan ja opinnäytetyön tekemisen aikana oli niiden yhtäaikainen työstäminen. Mielestäni molempien töiden tavoitteiden toteuttamisen osalta kuitenkin onnistuttiin, sillä opinnäytetyössä on kattavasti tarvittavaa teoriatietoa sähköverkon rakenteesta sekä suunnittelussa tiedettävistä ehdoista. Perehdytysoppaaseen onnistuttiin saamaan suhteellisen lyhyellä aikataululla ne tiedot, joita uusi suunnittelija tarvitsee työnsä aloittamiseksi. Perehdytysoppaan toimivuus tullaan testaamaan yrityksessä aloittavien uusien suunnittelijoiden perehdyttämisessä jo kesän 2016 aikana.

LÄHTEET

Anjala, R. 2008. SA 2:08 Pienjänniteverkon ja jakelumuuntajan sähköinen mitoittaminen. Helsinki: Energiateollisuus

Caruna 2016. Yrityksen www-sivut. Viitattu 21.3.2016.
<https://www.caruna.fi/>

Despro 2016. Yrityksen www-sivut. Viitattu 12.3.2016.
<http://www.despro.fi/>

Elovaara J. Haarla L. 2011a. Sähköverkot 1. Helsinki: Otatieto

Elovaara J. Haarla L. 2011b. Sähköverkot 2. Helsinki: Otatieto

Energiateollisuus 2016. Yrityksen www-sivut. Viitattu 21.3.2016.
<http://energia.fi/>

Energiavirasto 2016. www-sivut. Viitattu 3.5.2016.
<https://www.energiavirasto.fi/>

Fingrid 2016. Yrityksen www-sivut. Viitattu 28.3.2016.
<http://www.fingrid.fi>

Hakamäki, M. 2015. Uuden verkostosuunnittelijan perehdytysohjelma. Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Tekniikan ja liikenteen ala. Opin-
 näytetyö.

HeadPower Oy 2016. Yrityksen www-sivut. Viitattu 8.5.2016.
<http://www.headpower.fi/>

Hietalahti, L. 2013. Sähkövoimatekniikan perusteet. Tampere: Amk-Kustannus Oy, Tammertekniikka

Hirvonen M. 2013. PASS 55 omaisuudenhallintajärjestelmän käyttöönotto tilaajaorganisaatiossa. Tampereen ammattikorkeakoulu. Sähkövoimatekniikka. Opin-
 näytetyö.

Hölttä, T. 2014. Huipputehon, jännitteenaleneman ja oikosulkuvirtojen laskenta-
 raporttipohja. Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Tekniikan ja liikenteen ala. Opin-
 näytetyö.

Ilmatieteenlaitos. Tuuliolot eivät suuresti muutu. Verkkojulkaisu. Viitattu 11.4.2016.
<http://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/suomen-muuttuva-ilmasto/-/artikkeli/e16bb020-5c80-41ed-9d23-508701c90c5c/tuuliolot-eivat-suuresti-muutu.html>

Kivilä, M. 2015. Sähköverkon laskentaohjelmiston oppimisympäristön kehittäminen. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Sähkötekniikka. Insinöörityö.

Kivioja, J. 2012. Vaasan keskustan pienjänniteverkon nykytila-analyysi. Vaasan ammattikorkeakoulu. tekniikka ja liikenne. Opinnäytetyö.

Korpinen, L. 1998. Sähkövoimatekniikan opus. Tampereen teknillinen ammattikorkeakoulu. Opintomoniste.

Lakervi E. Partanen J, 2007. Sähkönjakelutekniikka. Helsinki: Otatieto

LUT Energy 2011. pienjänniteverkot.pdf. Lappeenranta University of Technology. Luentomateriaali.

Niemi, P. 2014. Säävarmuuden kehittäminen Sallila sähkönsiirto Oy:n jakeluverkon pohjoisosassa. Savonia-ammattikorkeakoulu. Sähkötekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö.

Puistomuuntamo 2016. Viitattu 10.5.2016
<http://calm.iki.fi/tolpat/kuva/5826>

Pylväsmuuntamo 2016. Viitattu 10.5.2016.
<http://calm.iki.fi/tolpat/kuva/4301>

Rajala, M. 2012. Kokonaisvastuurakentaminen sähköverkkoliiketoiminnassa. Tampereen ammattikorkeakoulu. Sähkövoimatekniikka. Insinööriyö

Rutanen, I. 2015. Verkostolaskentaohjelmien vertailu. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Sähkövoimatekniikka. Insinööriyö

Simonen, M. 2006. Sähkönjakeluverkon suunnitteluperusteet. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Sähkötekniikan osasto. Diplomityö

ST 53.13. Kiinteistön sähköverkon suojauksen selektiivisyys. Sähkötieto ry.2008

Sähköasema 2016. Viitattu 10.5.2016.
<http://calm.iki.fi/tolpat/kuva/8725>

Sähkömarkkinalaki 588/2013

Tukes 2016. Sähköistyminen Suomessa. Viitattu 21.3.2016.
http://www.tukes.fi/sahkoturvallisuus100/sts100/sahkoistyminen_suomessa.html